

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Technická diagnostika čerpadel

Technical Diagnostics of Pumping Devices

Student:

Radim Šebesta

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Blata, Ph.D.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání bakalářské práce

Student:

Radim Šebesta

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování

Téma:

Technická diagnostika čerpadel
Technical Diagnostics of Pumping Devices

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Vibrační diagnostika je jednou z nejvýznamnějších metod pro určování technického stavu strojních zařízení. Využijte proto vhodné nástroje této metody, případně jiné vhodné metody a dostupná zařízení pro určování technického stavu čerpadel. V rámci bakalářské práce se zabývejte problematikou týkající se čerpadel, dále se zabývejte problematikou možnosti identifikace vznikajících závad. Změřená data analyzujte a proveďte následná vyhodnocení.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proveďte konkrétní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

KREIDL, M., ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika*. BEN – technická literatura, Praha 2006, 1.vydání, 408s., ISBN 80-7300-157-6

KREIDL, M. a kol.: *Diagnostické systémy*. ČVUT v Praze, Praha 2001, 352 s., ISBN 80-01-02349-4

BLATA, J. – Juraszek, J. *Metody technické diagnostiky, teorie a praxe. Metody diagnostyki technicznej*,

teória i praktika. Ostrava: REPRONIS, s.r.o., 2013, 133 stran, ISBN 978-80-248-2997-5
Podkladové materiály firem - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

ČSN ISO 10 816 *Vibrace-Hodnocení vibrační strojů na základě měření na nerotujících částech*. Praha: Český normalizační institut, 1998.

FS_SME_05_003 verze: G *Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce*.

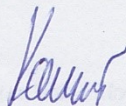
ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

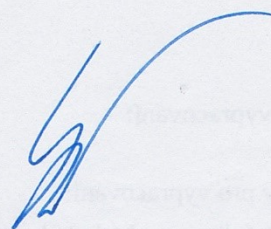
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 21.5. 2018



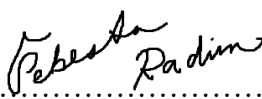
.....

Radim Šebesta

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že na mojí bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše)
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 21.5. 2018



.....

Radim Šebesta

Radim Šebesta

Jugoslávská 2814/33

Ostrava

700 30

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ŠEBESTA, R. *Technická diagnostika čerpadel: Bakalářská práce*. Ostrava: Katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2018, 103 s. Vedoucí práce: Ing. Blata, J. Ph.D.

Tato bakalářská práce je určena diagnostice vibrací a termografické diagnostice rotačních strojů, které jsou využívány ke zpracování vedlejších produktů výroby koksu. Teoretická část práce se zabývá rozdělením čerpadel, výrobou koksu, základní problematikou při měření vibrací a termografickém měření a problematikou poruch elektromotorů. Praktická část práce se zabývá použitými měřicími přístroji pro měření hodnot, tabulkami pro hodnocení technického stavu strojních zařízení. Dále následuje seznam měřených strojních zařízení, které byly měřené v provozu Koksovna Svoboda. Ke každému měření je udáno, o které čerpadlo se jedná, provoz, ve kterém se zařízení nachází, otáčky a výkon čerpadla, tabulka naměřených hodnot, termografické snímky a vyhodnocení technického stavu strojní soustavy. Závěrem je uvedeno celkové zhodnocení měření.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

ŠEBESTA, R. *Technical Diagnostics of Pumping Devices: Bachelor Thesis*. Ostrava: Department of Production Machines and Design, Faculty of Mechanical Engineering VSB-Technical University of Ostrava, 2018, 103 p. Thesis Head: Ing. Blata, J. Ph.D.

This bachelor thesis is devoted to diagnostics of vibrations and thermographic diagnostics of rotary machines, which are used for processing of side products of coke production. The theoretical part deals with pump distribution, coke production, basic problems in vibration measurement and thermographic measurement and problems of electric motor faults. The practical part deals with used measuring instruments for measuring values, tables for evaluation of technical condition of machinery. Below is a list of the measured machinery that was measured in the Coking Plant Svoboda. Each measurement indicates the pump, the operation in which the device is located, the speed and pump output, the table of measured values, the thermographic images and the evaluation of the technical state of the machine system. Finally, the overall assessment of the measurement is presented.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	11
ÚVOD.....	12
1. Stroje na dopravu kapalin	13
1.1. Základní princip čerpadel	13
1.2. Pojmy při využití čerpadel	13
1.2.1. Výška sání čerpadla	13
1.2.2. Výška výtlačná čerpadla	14
1.2.3. Dopravní výška čerpadla.....	14
1.3. Rozdělení čerpadel podle principu činnosti.....	14
1.3.1. Čerpadla objemová.....	14
2. Koksovny a koksárenský průmysl	24
2.1. Produkce koksu	25
2.2. Využití koksu	26
2.3. Koksovna Svoboda (výroba koksu)	27
2.4. Schéma a popis produkce koksu	29
2.5. Vývoj světového koksárenství	30
3. Základní jevy poruch a projevy těchto jevů	33
3.1. Nevyváženost zařízení.....	33
3.1.1. Nevyváženost statická.....	33
3.1.2. Nevyváženost momentová	34
3.1.3. Nevyváženost dynamická	35
3.2. Nesouosost rovnoběžná a úhlová	35
3.2.1. Nesouosost rovnoběžná.....	36
3.2.2. Nesouosost úhlová	36
4. Problematika měření termokamerami	37
4.1. Termokamera a její vlastní chyba	37

4.2.	Parametr emisivita, atmosféra a teplota zdánlivě odražená	39
4.2.1.	Emisivita	39
4.2.2.	Atmosféra	40
4.2.3.	Teplota zdánlivě odražená	40
5.	Problematika poruch elektromotorů	41
5.1.	Statorová excentricita a zkratované plechy	41
5.2.	Rotorová excentricita	42
5.3.	Rotorová problematika	42
5.4.	Napájení proudu a jeho analýza	42
6.	Diagnostika soustav čerpadel v OKK Koksovny a.s.	45
6.1.	Použité měřicí stroje	45
6.2.	Hodnocení vibračního měření	46
6.3.	Měřicí místa a směry	48
6.4.	Hodnocení termografického měření	49
7.	Vyhodnocení jednotlivých čerpadel	50
7.1.	Předčišťovací stanice (strojovna)	50
7.1.1.	Strojní soustava 48B	51
7.1.2.	Strojní soustava 49B	52
7.1.3.	Strojní soustava 50B	55
7.2.	Malá absorpční stanice (strojovna)	57
7.2.1.	Strojní soustava 24B	57
7.3.	Velká absorpční stanice (strojovna)	60
7.3.1.	Strojní soustava 19A	60
7.3.2.	Strojní soustava 6A	63
7.3.3.	Strojní soustava 7A	68
7.3.4.	Strojní soustava 8B	70
7.4.	Benzolová stanice (strojovna)	71
7.4.1.	Strojní soustava 7D	72

7.4.2.	Strojní soustava 7B	74
7.4.3.	Strojní soustava 9B	75
7.4.4.	Strojní soustava 6B	78
7.5.	Stanice přečerpávání čpavkové vody	80
7.5.1.	Strojní soustava 09b.....	80
7.5.2.	Strojní soustava 10b.....	83
7.6.	Čerpací stanice provozního roztoku STRETFORD	84
7.6.1.	Strojní soustava 101B	84
ZÁVĚR		91
PODĚKOVÁNÍ.....		92
SEZNAM OBRÁZKŮ		93
SEZNAM TABULEK.....		98
ZDROJE		99

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

\pm	„plus mínus“ (tolerance)
A	axiální směr
a_{RMS}	efektivní zrychlení vibrací (root mean square) [g]
DSP	Digital signal processing (zpracování digitálních signálů)
FFT	fast Fourier transformation (rychlá Fourierova transformace)
f_{L}	frekvence sítě [Hz]
f_{P}	průchodová pólová frekvence [Hz]
H	horizontální směr
L1	měřicí místo jedna
L2	měřicí místo dvě
L3	měřicí místo tři
L4	Měřicí místo čtyři
LPG	liquified petroleum gas (zkapalněný ropný plyn)
MS	malá strojovna
Např.	například
OKK	Ostravsko Karvinské koksovny
OKD	Ostravsko Karvinské doly
V	vertikální směr
VS	velká strojovna
v_{RMS}	efektivní rychlost vibrací (root mean square) [mm/s]

ÚVOD

Diagnosticke měření vibrací je velmi důležitou částí technického života technického objektu. Slouží ke zjištění problémů, které způsobují určitý druh vibračního signálu. Tento signál je identifikován pomocí přístrojů určených k měření vibračního signálu. Z následných frekvenčních spekter lze určit případné závady, které mohou souviset se zanedbanou technickou údržbou. Dle vyhodnocení lze pak tyto poruchy opravit nebo v některých případech obměnit daný stroj. Toto měření má také využití v utváření predikce životnosti strojů, aby bylo možno preventivně předcházet případným vznikům poruch. Měření vibrací je následně doplněno měřením termografickým. Snímky, pořízené termografickým zařízením (termokamerou), mohou poukazovat na zvýšené teploty, které mohou být projevem poruch stejných, jako u vibračního měření. Termografickými snímky lze podložit výskyt poruch nebo problémů, které byly zjištěny při vibračním měření a lépe určit jejich lokalizaci a velikost. Obě tyto technické diagnostiky zaznamenávají v současné době velký rozvoj, který se týká hlavně zvětšení přesnosti měření a zmenšování chyb měřících přístrojů. Technická diagnostika tak může v celkovém cíli určovat a zabraňovat poruchám v technickém životě stroje, které můžou negativně ovlivňovat fungování provozu nebo zvýšeným nákladům na opravy, či nákladné obměny strojních zařízení. [52]

1. Stroje na dopravu kapalin

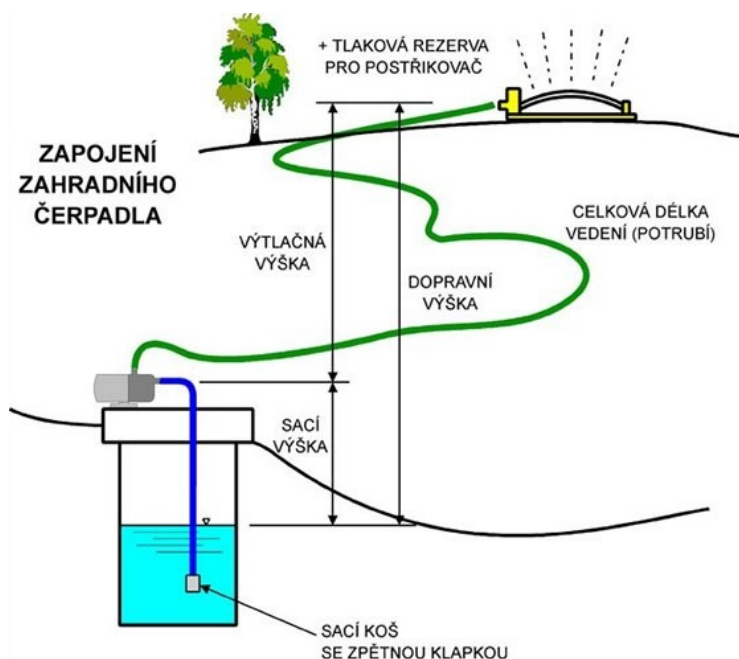
1.1. Základní princip čerpadel

Stroje pro dopravu kapalin se nazývají čerpadla. Jejich úlohou je doprava kapalin a kašovitých látek potrubím. Látky mohou být do čerpadel nasávány nebo mohou přitékat. Aby byl zaručen pohyb tekutin potrubím, musí být k tomu vynaložena práce. Proto se v případě čerpadel, jako strojních zařízení jedná o stroje pracovní (generátory), které se liší od strojů určených pro pohon čerpadel. [1]

1.2. Pojmy při využití čerpadel

1.2.1. Výška sání čerpadla

Je to výška od hladiny kapaliny k čerpadlu. Tato výška závisí na sacím tlaku, atmosférickém tlaku a na hustotě kapaliny, která je čerpána čerpadlem. Teoretická sací výška za působení atmosférického tlaku působí na hladinu, když při vakuu (absolutní) v sacím potrubí je čerpána čistá voda, je výška 10 m, ale ve skutečnosti u pístových čerpadel 7 až 8 m a u lopatkových (odstředivých) čerpadel 6 až 7 m. [1]



Obrázek 1 Znáznornění výšek čerpadla na schématu povrchového čerpadla [2]

1.2.2. Výška výtlačná čerpadla

Je to výška, která je závislá na pohonu čerpadla a na tom, jak je čerpadlo konstruované. V oblasti stavebnictví se využívají s výtlačnou výškou více jak 100 m. [1]

1.2.3. Dopravní výška čerpadla

V podstatě se jedná o výsledek, kdy se sečte sací výška a výtlačná výška čerpadla. Výsledek tohoto součtu se může pohybovat v rozmezí od několika cm až do 500 m. [1]

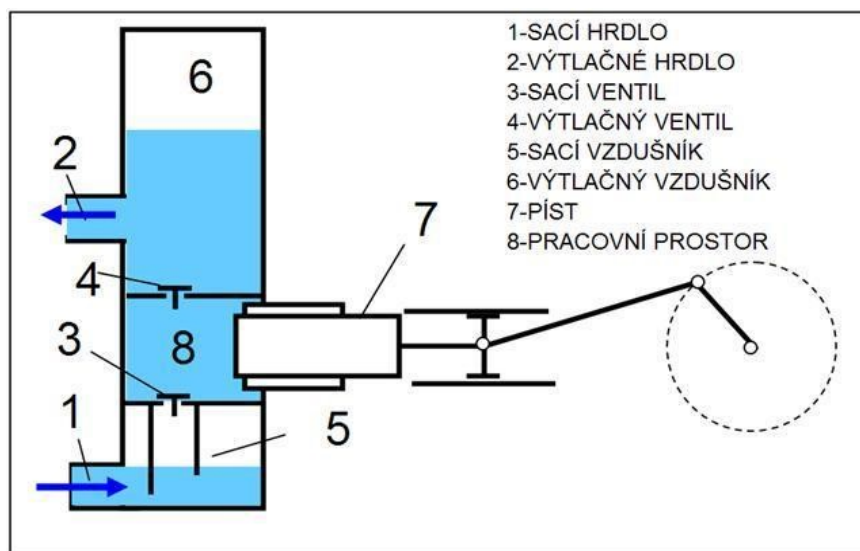
1.3. Rozdělení čerpadel podle principu činnosti

1.3.1. Čerpadla objemová

Tento druh čerpadel se vyznačuje především střídáním sání s výtlačkem. Motor dodává mechanickou energii a ta je měněna na energii tlakovou tím, že část čerpadla v provozu působí (tlačí) přímo na kapalinu. Do této kategorie spadají čerpadla pístová, čerpadla membránová, čerpadla vřetenová rotační, čerpadla zubová rotační a čerpadla lamelová rotační. [1]

1.3.1.1. Čerpadla pístová

Jejich základní částí je klikový mechanismus, kde dochází ke změně z otáčivého pohybu na pohyb posuvný. Klikový hřídel se otáčí a dochází ke změně na pohyb posuvný, který vykonává v tělese čerpadla píst. [1]



Obrázek 2 Jednoduchý princip pístového čerpadla (jednočinný) [3]

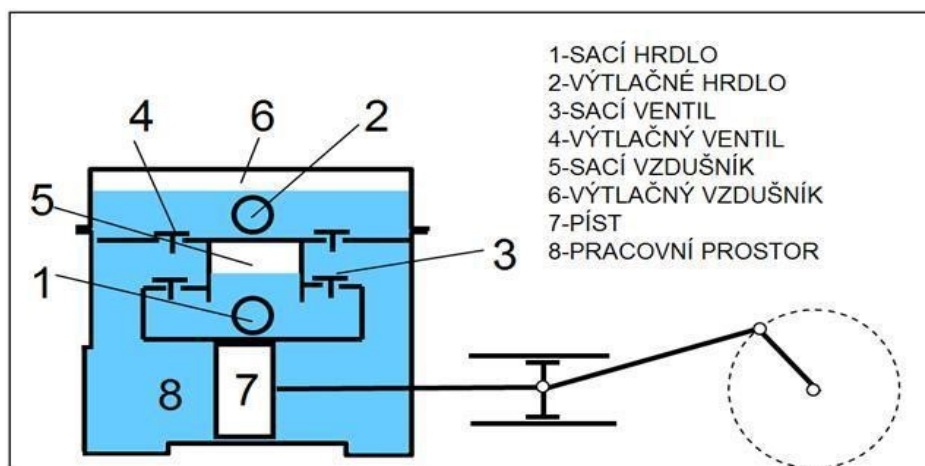
Další částí pístových čerpadel jsou ventily (sací a výtlačné) samočinně ovládané, vzdušníky (sací a výtlačné), které se zaplňují zčásti vzduchem a jejich úkolem je vyrovnat nestejnoměrnost kapalinového čerpání. Pro nestejnoměrný běh čerpadla se využívá setrvačnick. Podle způsobu práce se dělí na čerpadla pístová jednočinná, dvojčinná, zdvižná a diferenciální. Využití pístových čerpadel se používá tam, kde jsou menší objemové průtoky a pro tlaky vyšších hodnot. Díky jejich schopnosti samo nasávání jsou vhodné pro využití sání kapalin, které mají větší viskozitu, proto mají velké zastoupení v oblasti stavebnictví, kde se využívají pro dopravu betonu (čerstvého). [1]



Obrázek 3 Čerpadlo pístové PULTZMEISTER P 715 TD [4]



Obrázek 4 Čerpadlo pístové na beton (na korbě nákladního automobilu) [5]



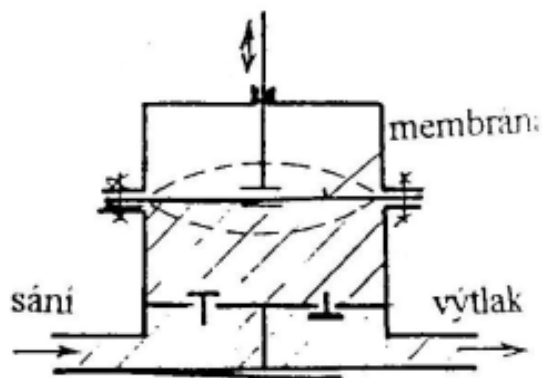
Obrázek 5 Jednoduchý princip dvojčinného pístového čerpadla [6]

1.3.1.2. Čerpadla membránová

Čerpadlo membránové se skládá z pístu a pružné membrány, která odděluje uzavřenou nádobu. Tyto části jsou napojeny na páku pomocí táhla a za průhybu, který poskytuje třmen, směrem nahoru a dolů. Když dochází k situaci, že se membrána zdvihá, kapalina je nasávána do prostoru mezi membránou a sací ventil, při poklesu membrány je vytlačována směrem nad membránu až do oblasti výtlačného hrdla. Využití membránových čerpadel je vhodné v oblastech, kde se přečerpávají znečištěné kapaliny, ale zároveň díky svým vlastnostem je vhodné k čerpání plynů a kapalin malých objemů. Hlavní výhodou čerpadla je uzavřenost čerpadla (nedochází ke kontaktu mezi okolním prostředím a čerpanou látkou). Mezi další použití se řadí použití v automobilním průmyslu, jako čerpadlo sloužící pro dopravu paliva. [1] [7]



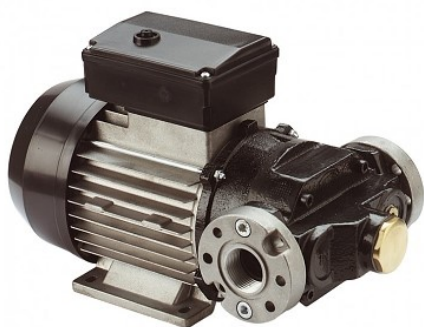
Obrázek 6 Membránové čerpadlo [8]



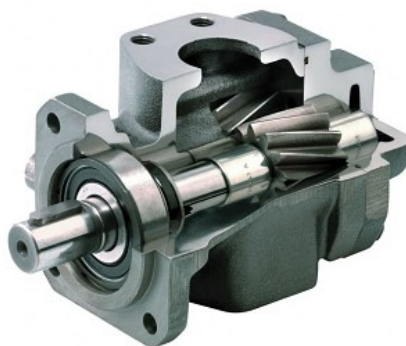
Obrázek 7 jednoduché membránové čerpadlo [9]

1.3.1.3. Čerpadla zubová rotační

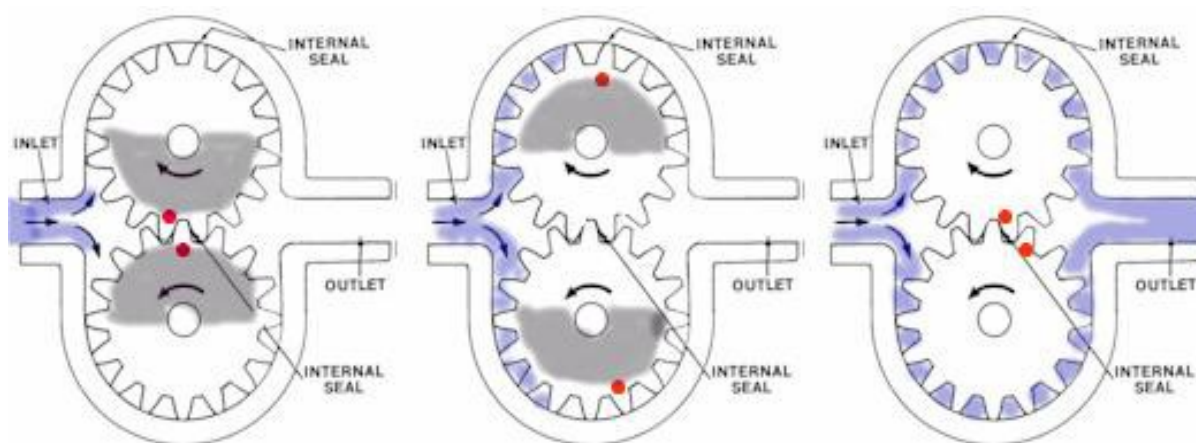
Čerpadlo se řadí mezi rotační objemová čerpadla. Díky konstrukční jednoduchosti a velké spolehlivosti, je zubové rotační čerpadlo jedním z nejvíce využívaných čerpadel v oblasti průmyslu. Princip čerpadla je založen na přepravě tekutin nebo past, kdy dochází k přenosu pomocí zubů ozubeného kola nebo ozubených kol. Výhodou je, že při znalosti konstrukce a rozměru ozubení, lze stanovit přesné dávkování dopravované kapaliny nebo pasty. Své užití tento druh čerpadla taky nalezne v hydraulických soustavách s parametry průtoku do $0,02 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a s parametry tlaku do 16 MPa. Při přepravě olejů pomocí zubových čerpadel, dochází k samomazacímu účinku, kdy je čerpadlo přečerpávanou kapalinou samo mazáno. [1] [10]



Obrázek 9 Rotační zubové čerpadlo [11]



Obrázek 8 Průřez zubovým čerpadlem [12]



Obrázek 10 Zubové čerpadlo s vnějším ozubením a jeho funkční fáze [13]

INLET – VSTUP

OUTLET – VÝSTUP

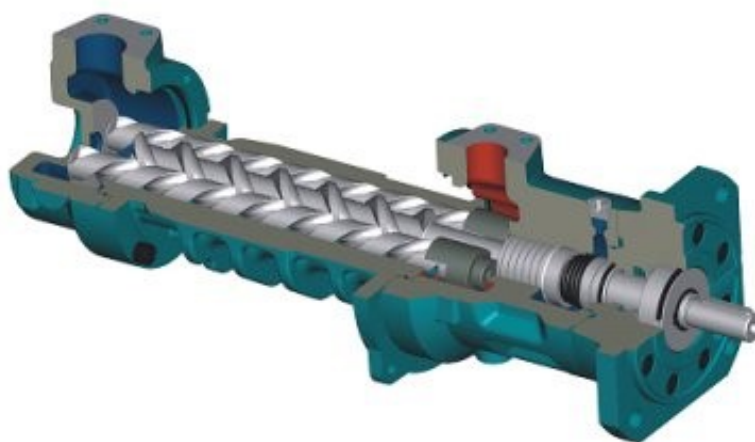
INTERNAL SEAL – VNITŘNÍ TĚSNĚNÍ

1.3.1.4. Čerpadla vřetenová

Vřetenové čerpadlo disponuje poměrně jednoduchým principem a konstrukcí. Otáčející se rotor, který má podobu šroubovice (Archimédův šroub, excentrický šnekový rotor, vřeteno s obdélníkovým závitem, s lichoběžníkovým závitem). Ta je uložena ve statoru. Ten je pevný a nepohybující se. Hlavní rozdíl mezi čerpadly je v počtu vřeten v čerpadle a podle druhu jejich rotoru. Zpravidla se dělí na tři druhy, kterými jsou jedno vřetenová čerpadla, dvou vřetenová čerpadla a tři vřetenová čerpadla. Výroba vřetenových čerpadel se dělí na dva typy, a to na provedení horizontální, které se využívá především pro přepravu, dávkování a přečerpání kapalin (Průmysl: potravinářský, farmaceutický, chemický). Druhou variantou výroby je čerpadlo horizontální, kde jeho hlavním provedením je ponorné čerpadlo na čerpání zemních vod (znečištěných i neznečištěných). Plynulá práce vřetenových čerpadel poskytuje tlak až 20 MPa a průtok $0,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Dále se čerpadlo vyznačuje tichým chodem, rovnoměrnou dopravou přenášené kapaliny a rychloběžností. Mohou dosahovat otáčkové hranice až 2800 min^{-1} . Rozměrově se jedná o malá čerpadla s vysokou účinností. Při výrobě a konstrukci vřetenových čerpadel je kladen důraz na kvalitu výroby a přesnost. [1] [14]



Obrázek 11 Ponorné vřetenové čerpadlo [15]

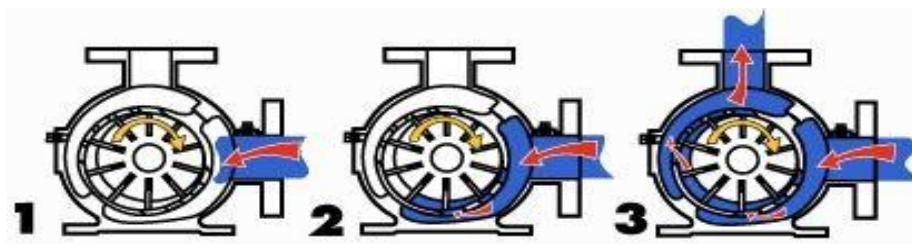


Obrázek 12 Řez vřetenovým čerpadlem [16]

1.3.1.5. Čerpadla lamelová

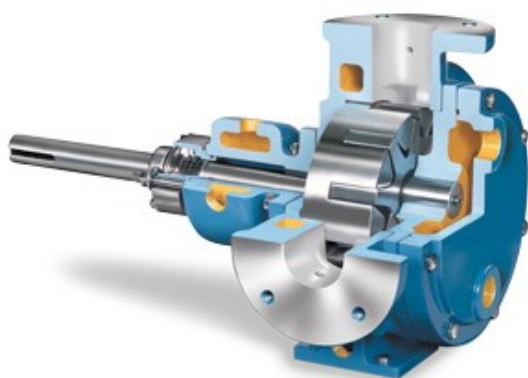
Druh čerpadel známější pod druhým názvem, který využívají, a to čerpadla lopatková. Ve své podstatě jejich modifikovaný princip lze přirovnat k mlýnskému kolu, které je známé po mnoho století, ale teprve roku 1874 dochází k vynalezení a následném patentování. Od tohoto roku se lopatkové čerpadlo plně zapojuje do průmyslových provozů. Samotný princip a konstrukce samotného lopatkového čerpadla je využít rotačně poháněného rotoru, který bývá upevněn vyosením v porovnání se středem válcové (vnitřní) dutiny pouzdra. Rotor, podobající se bubnu, je osazen lopatkami (výsuvné nebo pružné). Při otáčení rotoru se samovolně upravuje délka lopatek, aby vždy docházelo k přehrazení prostoru mezi stěnou a bubnem. Z tohoto důvodu dochází k rozdělení čerpadlového prostoru na jednotlivé komory mezi lopatkami, u kterých se s otočením mění objem těchto komor. Tím je největší objem právě při nasání kapaliny nebo plynu v sacím otvoru od kterého putuje kapalina

k výtlačnému otvoru, ale při návratu v jednom cyklu od výtlačného otvoru zpět k sacímu bude tento objem nejmenší. Tenhle postup zajišťuje, že látka, co je přepravována je vždy vytlačována ven a neovlivňuje to výstup, jak ve vodorovné, tak ve svislé poloze. [17]



Obrázek 13 Přenášení hmoty lamelovým čerpadlem [18]

Využití lamelových čerpadle je velmi hojné. Lze je používat pro nízkotlakou a středotlakou hydrauliku, v průmyslu chemickém a potravinářském. Využití lamelových čerpadel nalezneme také v automobilních zařízeních, jako palivová čerpadla sloužící pro dopravu paliv nebo v brzdách a posilovačích řízení je jimi dopravována kapalina potřebná pro funkčnost těchto zařízení. Některé typy planetových převodovek využívají dopravu kapalin pomocí lamelových čerpadel. Jsou vhodná k přepravě a čerpání alkoholu, ředidel, rozpouštědel, benzínu, lihu a metanolu (kapaliny s velmi nízkou viskozitou 0 až 500 cP, u teplot -100 až 300 °C). Slouží také k přepravě benzolu a čpavkových vod v koksárenských zařízeních. Díky svému principu a svým vlastnostem je shledáváme vhodnými k přepravě plyných látek. S tím souvisí jejich využití ve vakuových pumpách pro velmi dobré sací schopnosti k čerpání plynů LPG nebo dopravě a čerpání amoniaku, či freonů. [17]



Obrázek 15 Řez lamelovým čerpadlem [19]



Obrázek 14 Soustava lamelového čerpadla s pohonem [20]



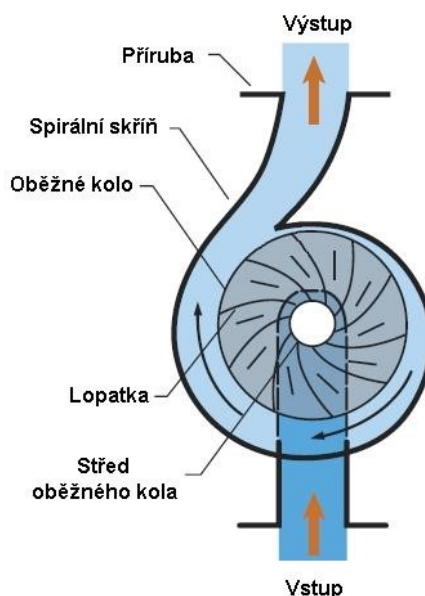
Obrázek 16 Měřená soustava lamelového čerpadla (49B) [autor]

1.3.1.6. Čerpadla odstředivá

V některých odvětvích a literaturách můžeme také nalézt pod pojmem hydrodynamické pumpy. Když se podíváme na měřítko využití čerpadel, tak princip tohoto druhu čerpadel bude tím nejvíce využívaným. Ve své podstatě se moc neliší od předchozích lamelových (lopatkových) čerpadel, protože využití olopatkovaného rotoru nalezneme i zde. Rozdílem je tady fakt, že lopatky jsou zakřivené a liší se jejich fyzikální princip. Z názvu je vyplývající, že čerpadla odstředivá budou využívat odstředivé síly, která vzniká při pohybu rotačním. V podstatě je zde hnací hřídel, který je v pevném spojení s oběžným kolem, na kterém jsou zahnuté lopatky. Lopatky se odstředí paprskovitě od středu kola (oběžného) ven. Kapalina určená k přepravě přitéká ze sacího hrdla na střed kola, a to dané kapalině (plynu) uděluje rotační pohyb. V tomhle místě se zaznamenán vznik odstředivé síly, která působí na kapalinu a je touto silou vymršťována z výtlačného potrubí ven. Při brždění kapaliny dochází k transformaci kinetické energie kapaliny na tlak. [21]

Jak bylo sděleno na začátku této odrážky, tak odstředivá čerpadla mají velmi velké zastoupení ve využití. Dá se tvrdit, že prakticky v oblastech, kde je potřeba čerpat velké množství vody, tam najdou odstředivá čerpadla největší využití. Ve většině případů konstruování vodních, ponorných čerpadel a čerpadel na kaly se využívá tohoto principu. Hlavními důvody jsou zejména konstrukční jednoduchost, ze které vyplývá méně náročná údržba, dále potom je známo, že životnostní hledisko je velmi dlouhotrvající, a především

je nutno upozornit na velmi nízké náklady na výrobu a s tím samozřejmě související cena pořízení odstředivého čerpadla. Odstředivá čerpadla nalezneme v okolí bazénů, studní, nádrží a celkově v místech kde je nutné trvale a rychle přečerpávat velká množství kapalin (čistá i znečištěná voda). V průmyslu užití pro čerpání a dopravu objemů velké velikosti velké škály kapalin s viskozitou, která je nízká a střední. Lze dopravovat i zkapalněné plyny. [21]



Obrázek 17 Princip odstředivého čerpadla [22]

Odstředivá čerpadla jsou vyráběna ve více variantách. Jedním z nich je odstředivé čerpadlo s jedním oběžným kolem (jednostupňové čerpadlo), které je schopno dopravovat kapalinu do výšky až 53 m. Dalším typem principu je, že na hřídeli je umístěno více oběžných kol (vícestupňové čerpadlo) a jeho schopnost výškové dopravy činí 250 m a více. V odvětví stavebnictví nachází odstředivé čerpadlo uplatnění, jako odstředivé kalové čerpadlo, které je schopno poskytovat výkony 300 až 10 000 l/min. [1]



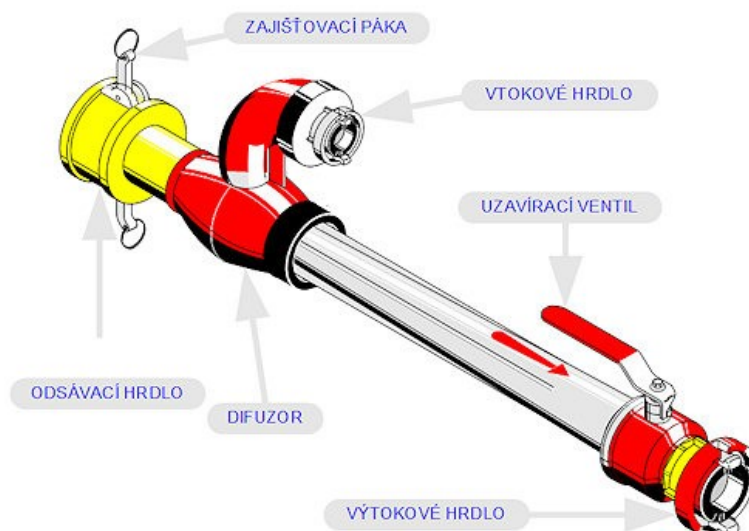
Obrázek 18 Odstředivé čerpadlo [23]

1.3.1.7. Čerpadla proudová

Jedná se o speciální druh čerpadel, protože na rozdíl od předchozích čerpadel není voda přepravována pomocí mechanického pohybu. V proudových čerpadlech nedochází k mechanickému pohybu. S tím souvisí i to, že čerpadla mají velkou odolnost a poskytují vysokou spolehlivost. S náklady na výrobu se řadí k levnějším variantám čerpadel. Pro vykonávání správné funkce potřebují médium (tlakové). Tlakovým médiem může být například vzduch, tlaková voda nebo lze využít páru. Sama osobě nejsou poháněna motorem, ale z důvodu, že je někde potřeba natlakovat poháněcí médium najdete tyto čerpadla v kombinacích s nějakým jiným druhem čerpadla například se vzduchovým dmýchadlem v situaci, kdy je potřeba využít, jak podtlakové médium (plyn), a v opačném případě existují kombinace s čerpadly kapalinovými případně s rozvody vodovodního řádu. Nejčastěji je užíváno k čerpání kapalin z velkých hloubek ve stísněných prostorech, kde není potřeba v blízkosti umísťovat pohonné zařízení nebo v oblastech přítomnosti tlakové vody (vodovodní řády). Tedy po shrnutí informací je především jeho využití jako nadstavba pro ostatní čerpadla, aby se zlepšila jejich pracovní výška (hloubka). [24]

Z pravidla se proudové čerpadlo skládá z těchto částí [24]:

- 1) Hrdlo vtoku, které je napojeno na trysku (injektor nebo ejektor),
- 2) Prostor směšování s hrdlem pro sání (sací koš),
- 3) Difuzor (Tryska tlačná nebo lze využít Venturiho trubici),
- 4) Hrdlo určené k výtoku.



Obrázek 19 Provedení a popis proudového čerpadla pro požární účely [25]

2. Koksovny a koksárenský průmysl

Podnik, ve kterém bylo prováděno měření je podnik nacházející se v regionálním městě Otrava. Tento podnik se zabývá především koksárenskou výrobou. Koks je vyráběn z černého uhlí. [26]

Historie koksárny sahá do roku 1843, kdy společnost zahajuje provoz výroby koksu, konkrétně je zahájen provoz na nově vzniklé koksovně Jan, která později v historii nesla i jména, jako koksovna prezidenta Beneše nebo koksovna Československé armády. Samostatný podnik neboli podnik OKK vzniká až v roce 1952. Následně jsou k této společnosti připojeny všechny koksárenské společnosti a závody v oblasti Ostravsko-karvinského prostoru. Do tohoto řetězce nespádají jen železárny ve Vítkovicích, železárny v Třinci a Nová huť. Po roce 1994 se majetkem společnosti staly dvě koksárenská zařízení v Ostravě, koksárna Jana Švermy a koksárna Svoboda. Navíc tyto dvě zařízení jsou doplněny ještě jednou koksovnou v Karvině (koksovna Československé armády). Během roku 2008 dochází ke změně majitele, firmu přebírá společnost New World Resources a tato společnost zároveň vlastní původní společnost OKD. Poslední velkou změnu majitele zaznamenávají koksovny v prosinci roku 2013, kdy se majitelem stává společnost MTX Koksovny ze společnosti MTX CZ. Ale už v březnu 2014 společnost MTX Koksovny zaniká z důvodu spojení dvou společností MTX CZ a OKK Koksovny a tím pádem se společnost MTX CZ stává majitelem OKK Koksoven. [26]

V současné době je jediným provozem už jen koksovna Svoboda. Provozy v ostatních koksárenských zařízeních byly zastaveny, koksovna Československé armády (1997) a koksovna Jana Švermy (2010). Ztroskotat také plán na výstavbu nové koksovny ve Stonavě, stavba byla v roce 1991 zastavena. V momentálním jediném závodu na výrobu koksu, tedy koksovna Svoboda, se provozují čtyři koksárenské baterie. Produkt, který patří mezi hlavní je černouhelný koks, který nalézá využití v metalurgii, slouží také k vytápění nebo k technologickým účelům. Dále koksovna produkuje vedlejší produkty, například plyn (koksárenský), benzol, dehet, ale také síru nebo síran amonný. [26]



Obrázek 20 Fotografie koksovny Svoboda [27]

2.1. Produkce koksu

Jak již bylo zmíněno, tak nejdůležitějším produktem je koks. Společnost OKK zaplňuje oblast trhu velkým sortimentem koksu a dalších produktů, které patří k vedlejším produktům. Ke zpracování využívá koksovna všechny druhy uhlí, které jsou shledány, jako vhodné ke zpracování. [28]

Když se zaměříme na tvorbu koksu, tak zjistíme, že za jeho vznikem stojí pyrolýza černého uhlí za vysokých teplot (nad 1000 °C) a zároveň musí být zamezen vstup vzduchu. Jako hlavní surovina určená pro výrobu koksu je černé uhlí. Požadavky na černé uhlí určené ke zpracování v koksárnách jsou, že uhlí musí disponovat nízkým obsahem chemického prvku síry, dále potom musí mít uhlí vhodné vlastnosti, aby mohlo být vhodně a termicky zpracováno. Jedním z dalších způsobů vzniku koksu dochází při výrobě ropy, konkrétně při zpracování ropy. Zde vzniká koks, který je kvůli vlastnostem nepříliš vhodný pro výrobu, kdy dochází k výrobě surového železa. Je také známo, že ke vzniku koksu může docházet i přirozeným způsobem, a to hlavně v místech, kde se nachází sloje se zásobami uhlí. Když tyto uhelné sloje se v průběhu, kdy probíhal geologický vývoj, dostaly do kontaktu s rozžhaveným magmatem. [28]

Každá výroba obsahuje svůj výrobní proces a ani výroba koksu není výjimkou [28]:

- 1) Úplně na začátku se nachází spíše logistická část. Dochází k manipulaci s uhlím. Dochází k jeho vykládce ze zařízení, které ho do daného provozu dopravují (nákladní vlaky, nákladní automobily nebo je-li místo těžby blízko místu výroby koksu můžou být užity pouze důlní vozíky nebo dopravníky). Toto vyložené uhlí se dále skladuje v zásobnících.
- 2) V tomto bodě dochází k přípravě takzvané vsázky. Uskladněné uhlí se musí dávkovat, poté se přesouvá k mletí a míchání. Promleté a promíchané uhlí se vlhčí a je nutné jeho vzorkování.
- 3) Zde přichází na scénu hlavní proces, který se nazývá vysokoteplotní karbonizace, kde už se uhlí přímo vsází, následuje koksování a jeho následné vytlačení. Jakmile je koks vytlačen, veze se na dopravníku, kde dochází k chlazení.
- 4) Po zchlazení koksu na dopravníku, následuje část, kde dochází k takzvané manipulaci s koksem. Dochází k jeho drcení na menší části. Poté se tento nadrcený koks třídí podle velikosti zrna a vzorkuje se. Na konci cesty výroby koksu je nakládání do nákladních železničních vozů a následný export koksu do zařízení, které ho dále využívají.
- 5) Posledním bodem je už jen koksárenský plyn, který je nutné zchladit a vyčistit jej. Nutnost také zmínit, že dochází k zisku chemických produktů, vedlejší výrobou.

2.2. Využití koksu

Využití koksu nachází velké uplatnění hlavně jako palivo a činidlo, využívané pro redukci ve vysokých pecích, ve kterých dochází k výrobě železa (surové železo) nebo také v provozech, které se nazývají kuplovný a slouží k výrobě litiny. Své využití nalézají taky ve výrobě izolačních materiálů pro odvětví specializované metalurgie. Výchřevné vlastnosti

koksu slouží hlavně v oblasti vytápění. Koksu se využívá jako suroviny (technologické) při některých výrobcích, kde se využívá chemie a ve výrobcích, kde se pro změnu vyrábí potraviny. Koks z uhlí, který je využíván v různých druzích výroby, má po výrobě stříbřitě šedou barvu, zároveň má velkou tvrdost a vhodnou pórovitost. Výhřevnost koksu, který je v koksovnách vyráběn je podle druhu koksu od 25 do 30 MJ/kg. Zajímavostí při jednom z mnoha využití koksu je jeho použití, hlavně kvůli jedné z jeho vlastností (pórovitost), ve vesmírném programu, protože pórovitost zajišťuje velmi dobrou izolaci vůči teplu. Proto koks využívá i kosmický program v Americe, kde je využíván jako složková část štítu určeného pro brždění na lodích, které pronikají do vesmíru. Konkrétně v projektu Apollo, kde byl právě již zmíněný koks využit v tepelném štítu umístěného ve velitelské oblasti kosmické lodi. Vesmírný program počítá s využitím koksu i pro třídy vesmírných lodí Orion, které mají být určené k opakovanému přistání na měsíci a v budoucnosti k přistání na planetě Mars. [28]



Obrázek 21 Kosmická loď třídy Orion [29]

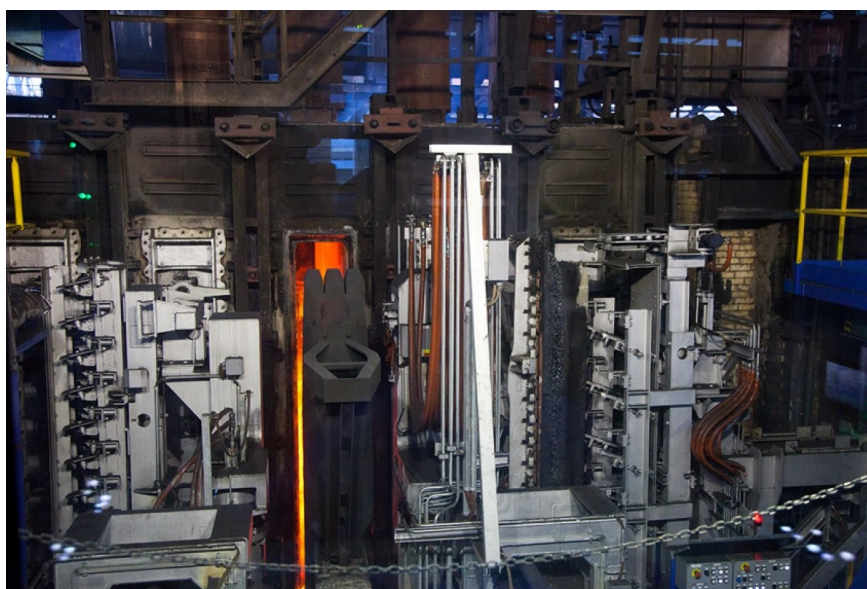
2.3. Koksovna Svoboda (výroba koksu)

Jak už bylo zmíněno v odstavci týkajícího se historie koksoven v Ostravsko-karvinském revíru. Koksovna Svoboda je jediným podnikem společnosti OKK Koksovy na Ostravsku. K dispozici jsou zde pro výrobu koksu koksárenské baterie v celkovém počtu čtyři. Pak činí celkový počet komor v těchto čtyřech koksárenských bateriích 210 komor. Konkrétní koksárenské baterie na koksovně Svoboda jsou označeny pod číselným označením, konkrétně koksárenská baterie číslo 7, koksárenská baterie číslo 8, koksárenská baterie číslo 9 a koksárenská baterie číslo 10. Znova je nutné podotknout počet komor v těchto bateriích,

tento počet činí 210 komor. V baterii č.7. je 50 komor, v baterii č.8. je 54 komor, v baterii č.9. je 50 komor a v poslední baterii č.10. 56 komor. Celkový objem, technický řečeno kapacita, komor se pohybuje přibližně okolo $15 \pm 0,5$ tun koksu. Zde probíhá výrobní proces o čase trvání výroby 32-34 hodin. V koksovně Svoboda se využívá takzvaný proces přechování, který určuje, že vyrobený koks se bude využívat hlavně v odvětví slévárenství. Společnost OKK odhaduje roční výrobu v současnosti okolo 800 000 tun vyrobeného koksu. [30]



Obrázek 22 Pohled na koksovnu Svoboda (chemický provoz-hrubá kondenzace) [31]



Obrázek 23 Koksovna Svoboda, koks vytlačovaný z jedné z komor koksárenské baterie [32]

2.4. Schéma a popis produkce koksu

Jak už bylo mnohokrát zmíněno koks se vyrábí v komorách určených pro koksování. Předem jsou zvolené typy uhlí, které jsou vhodné pro koksovací proces. Tohle předem zvolené uhlí se mísí v předepsaném poměru do vsázky uhlí. Tato uhelná vsázka podstoupí rozemletí a poté přichází na řadu transport do věží určených ke skladování uhlí (uhelné věže). Stroj určený pro pěchování uhlí odebírá z uhelných věží vsázku. V tomto pěchovacím stroji dochází k udusání do velkých bloků, nejvíce se podobající velkým hranolům. Stlačený uhelný hranol je horizontálně vsunován do komor koksárenských baterii za pomoci zařízení, nazvaném sázecí deska. Uvnitř komory je uhelný hranol zahříván způsobem nepřímým (termická pyrolýza). Je nutnost dodržet odvodu dýmu. V koksárenské komoře je poté tento blok zahříván pomocí komor, hlavně zdí koksárenských komor, které jsou vybaveny topnými tělisky. Teplota, která je potřebná pro proces koksování je 1150 °C. Této teploty se dosahuje spalováním koksárenského plynu. V tomto prostředí dochází ke karbonizaci uhelného bloku, tím přechází na vyrobený koks. Tento proces, probíhající uvnitř komory probíhá 32-34 hodin. Jakmile je po tomto časovém úseku dokončen přechod uhlí na koks pomocí karbonizace, tak je vytlačován. Vytlačování poskytuje speciální výtlačné zařízení. Koks putuje přes koš, který je umístěn na vodícím voze a přechází na korbu zařízení, které je pojmenováno hasící vůz. Protože koks vytlačen koksárenskými komorami má velmi velkou teplotu, je unášen hasícím vozem do prostoru, ve kterém stojí věž určená k hašení horkého koksu, který je nesen na hasícím vozíku. Hasící věž poskytuje hašení neboli gravitační zchlazení koksu. K chlazení koksu se využívá voda. [34]

Jakmile dojde v prostoru hasící věže ke zchlazení koksu, následně hasící vůz vyklopí koks na rampu (koksová rampa). Z této rampy dochází k dávkování. Za pomoci pásového dopravníku je dopraven do prostoru, ve které se nachází hrubá třídírna, ve které se třídí dopravený koks. Tyto prostory zajišťují i nakládku koksu určeného pro slévárství na korby železničních nákladních vozů nebo je skladován v kontejnerech. Další druhy koksu, mezi které patří technologický koks nebo koks vysokopecní se dále převážejí opět s pomocí pásového dopravníku z hrubé třídírny koksu k třídírně koksu, která rozděluje koks ještě na jemné části. Zde dojde ke zrnivostnímu přetřídění. Toto přetřídění se provádí na třídících, tyto třídíče využívají vibrace. Po procesu přetřídění na vibračních třídících se ještě využívá přístrojů, které dotřídí koks. Finální druhy koksu jsou přepraveny k nakládku na železniční nákladní vozy nebo nákladní kontejnery a dochází k expedici produktu k zákazníkům.

Samozřejmě během procesu výroby koksu je odebírán plyn vzniklý při výrobě koksu. Z tohoto koksárenského plynu se následovně oddělují pomocí chemických operací a reakcí oddělují chemické vedlejší výrobky, jakými jsou benzol, dehet nebo síra a síran amonný. [34]



Obrázek 24 schéma procesu výroby koksu [33]

2.5. Vývoj světového koksárenství

Na závěr této kapitoly je nutné zmínit, jak se vyvíjelo koksárenství ve světě. Jako oficiální doložení vzniku koksárenství lze datovat k světoznámé události v oblasti techniky a pokroku, technické revoluci. Na počátcích této události, tedy v počátcích 17. století, byl navržen sirem Henry Plattem postup, jak zpracovávat uhlí. Jednalo se o zpracování, které bylo odvozeno od klasické pyrolýzy dřeva (v této době běžný způsob). Jednalo se o proces, kdy docházelo k zahřívání dřeva za omezeného odvodu vzduchu v milířích. V 17. století se takto zpracovaný koks využíval především k topení a využívali ho též v některých potravinářských průmyslech té doby, jako například pivovarnický průmysl. Protože se jednalo o palivo, které nevydává zplodiny a tím pádem nemohlo kontaminovat potravinářský produkt. [35]

V nadcházejícím 18. století, konkrétně v roce 1709, Abraham Darby I. zjišťuje, že koksu lze využít jako vynikajícího činidla pro redukci při železo výrobě. Protože uhlí v přírodním stavu nenacházelo využití i kvůli zplodinám, které vznikaly při jeho hoření. Jedná se tedy o jedno z důležitých objevů, které umožňovaly rychlejší start průmyslové revoluce. Z toho postupu vzešla výroba oceli a železa. Dalším důležitou věcí je, že z jednoduchých milířů se přechází na důmyslnější pece. Tyto pece disponují větší účinností výroby, lepším konstrukčním provedením než u milířů a větší kvalitou vyráběného koksu. [35]

V 19. století, jak již bylo zmíněno v úvodu této kapitoly, konkrétně v 40. letech se začíná rozvíjet koksárenská výroba na Ostravsku. Následně pak vzniká roku 1892 koksovna nesoucí jméno Ignát (pozdější koksovna Jana Švermy). [35]

Do běhu dějin nastupuje 20. století, to udává směr moderní výrobě koksu. V roce 1940 je vynalezen základní návrh moderních pecí pro zpracování uhlí na koks. Tyto pece disponovaly délkou 12 metrů, výška těchto pecí činila 4 metry a šířka dosahovala 0,5 metrů. Tyto prototypy moderních pecí byly vybaveny dveřmi, které se nacházeli na obou stranách koksovací pece. Vystupující spaliny, které měly vysokou teplotu, se využívaly na předehřívání přívodu vzduchu. Rekuperace neboli zpětné získání tepla umožňovala dostupnost vyšších teplot a také dochází ke zvyšování koksovací rychlosti. Od tohoto roku (1940) dochází k mechanizaci procesu koksování a zlepšuje se kvalita materiálů pro konstrukci. Dnešní moderní komory mohou mít rozměry délky okolo 20 metrů a rozměry výšky okolo 8 metrů. [35]



Obrázek 25 Abraham Darby I. (portrét) [36]



Obrázek 27 Milíř (replika) [37]



Obrázek 26 Milíř (historická fotografie) [38]

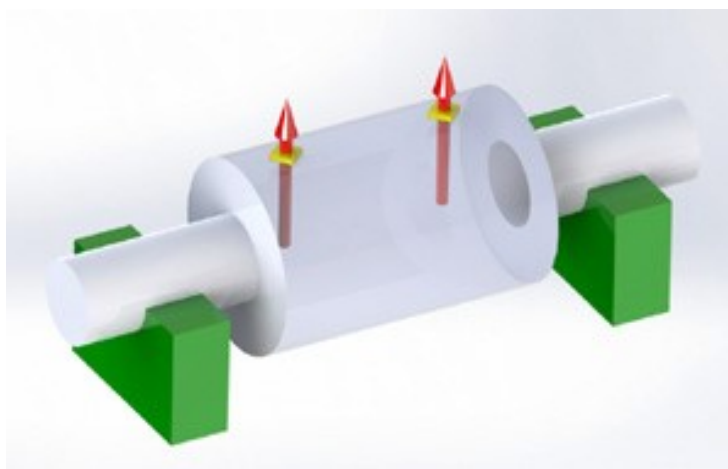
3. Základní jevy poruch a projevy těchto jevů

3.1. Nevyváženost zařízení

Za počátek vzniku nevyváhy zařízení lze považovat jeho samostatnou výrobu. Tuto nevyváhu způsobuje hmota, jež je umístěna nesouměrně od osy rotace. Výsledkem této nevyváženosti zařízení je mechanické kmitání. Toto mechanické kmitání negativně ovlivňuje fungování celého stroje. Jedná se o nejčastěji se projevující se jev, který má za následek velké dynamické namáhání a tímto dynamickým namáháním se zkracuje životnost zařízení. Rychlost vibrací, tedy její celková hodnota, kterou způsobuje nevyváha je z velké části závislá na otáčkách. Dojde-li ke zdvojnásobení otáček daného zařízení, tím pádem se bude zvyšovat vibrační hodnota na čtyřnásobek. A z tohoto důvodu se musí uvažovat otáčky strojního zařízení, které bude stroj vykazovat v průběhu práce, jež vykoná. [39]

3.1.1. Nevyváženost statická

Výskyt statické nevyváženosti je výjimečný. V praxi můžeme tento jev pozorovat u kotoučů které rotují, kde celkový průměr rotujícího kotouče je razantně větší než kotoučová šířka. Může se jednat o tenké kotouče pil nebo brzdy. Princip statické nevyváhy je, že centrální setrvačná osa je posunuta proti rotační ose, ale je zachována jejich vzájemná rovnoběžnost. [39]

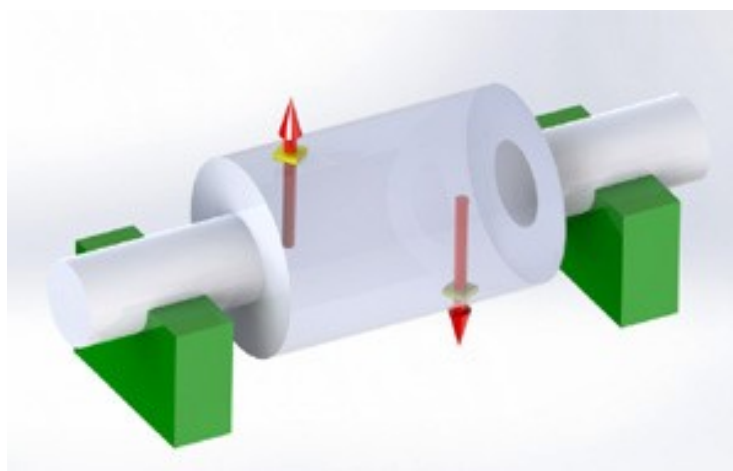


Obrázek 28 Nevyváženost statická [40]

Projev vibrací ve spektru frekvencí statické nevyváženosti je nejčastěji zaznamenán výraznou amplitudou na frekvenci otáček v radiálním směru ložisek a posuvem fází, který je nulový nebo téměř malý ($\pm 30^\circ$). Amplituda v mnoha případech dominuje a sledujeme její přítomnost na základní frekvenci rotoru. Rozdíl fází mezi vertikálním a radiálním směrem činí $90^\circ (\pm 30^\circ)$. Na vysokou nevyváhu zařízení nebo na ložiskovou vůli ukazuje výskyt harmonických násobků frekvence otáček. [39]

3.1.2. Nevyváženost momentová

Také se někdy nazývá nevyváženost dvojicová. V tomto případě nevyváhy jsou naopak osa centrálně setrvačná a rotační osa vůči sobě různoběžné, ale dochází k osovému protnutí v místě rotorového těžiště. Když se otáčí rotor, tak působí dvojice sil setrvačnosti (dvojicová nevyváženost) od přítomného nevyváhu na rotor a je zaznamenán vznik vibrací. Rotor, který je ve stavu klidném, se projevuje jako vyvážený, momentová nevyváženost se začne projevovat až, když dojde k pohybu. Tento projev značí přítomnost dvojice sil a tyto síly způsobují momentové namáhání. [39]

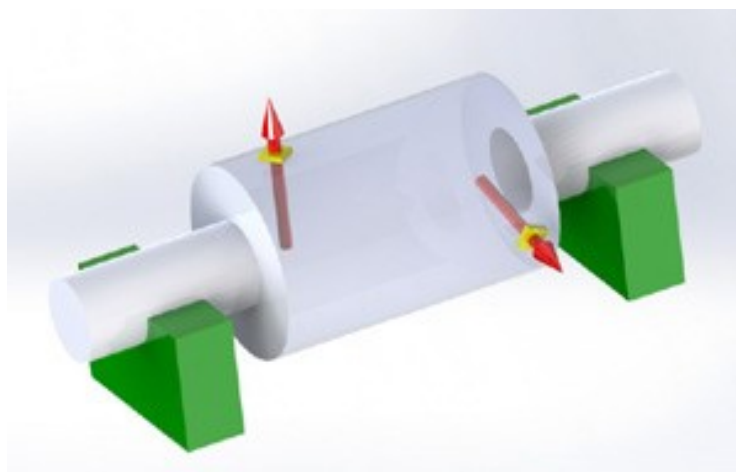


Obrázek 29 Nevyváženost momentová [41]

Projev vibrací ve spektru frekvencí nevyváženosti momentové je projevem amplitudy ve směru radiálním na ložiskách s nulovým nebo malým posuvem fází ($\pm 30^\circ$). Amplituda v mnoha případech dominuje a můžeme sledovat její působení na základní frekvenci rotoru. Rozdíl fází mezi směrem vertikálním a směrem horizontálním je přibližně $90^\circ (\pm 30^\circ)$. Na vysokou nevyváhu zařízení nebo na ložiskovou vůli ukazuje výskyt harmonických násobků frekvence otáček. [39]

3.1.3. Nevyváženost dynamická

U většiny případů v se v praxi setkáváme právě s dynamickou nevyvážeností. Jedná se o kombinaci dvou předešlých nevyvážeností, tedy jde o kombinaci nevyváženosti statické a nevyváženosti momentové. Hlavní setrvačná osa neprotíná rotační osu v místě těžiště. K protnutí os dojde mimo místo těžiště. [39]



Obrázek 30 Nevyváženost dynamická [42]

Projev vibrací ve spektru frekvencí nevyváženosti dynamické je projevem amplitudy na frekvenci otáček v směru radiálním v obou ložiskách, když dochází k velké nevyváze, tak může vzniknout amplituda na dvojnásobku frekvence otáček. Abychom mohli odstranit přítomnou nevyváženost musíme zahájit vyvažování ve dvou rovinách. Rozdíl fází vibrací ve směru horizontálním na ložisku (vnější a vnitřní) se pohybuje v rozmezí 0° až 180° . Podmínkou musí být, že rozdíl fázový ve směru vertikálním a fázový rozdíl ve směru horizontálním se musí shodovat. [39]

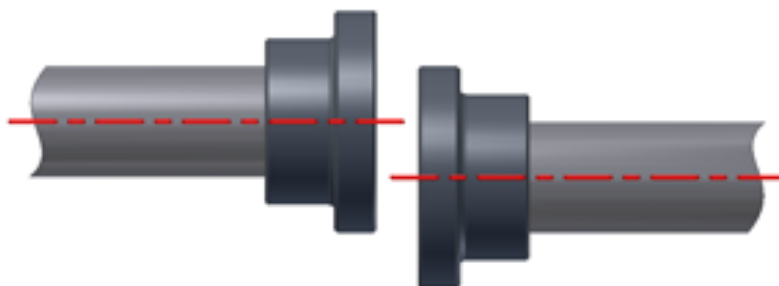
3.2. Nesouosost rovnoběžná a úhlová

Značná skupina zařízení ve strojírenství se provozuje, ale často můžeme u těchto zařízení sledovat, že jsou nevhodně ustaveny nebo mají nevhodnou spojku, také v některých případech i poškozenou. Tento jev nejvíce negativně ovlivňuje strojní zařízení, spojku. Toto negativní působení způsobuje velké tepelné namáhání a silové namáhání spojky. Kromě spojky se projevují deformace způsobené teplem a silovým namáháním i na hřídelích, ložiscích a převodovkách. Toto vede následovně k projevu zvětšených vibrací. Zvětšené

vibrace se pak dále šíří do soustrojí, kde dojde k tomu, že už tak zvětšené vibrace se ještě zvýší a celý stroj je poškozován poškozením druhotným. [39]

3.2.1. Nesouosost rovnoběžná

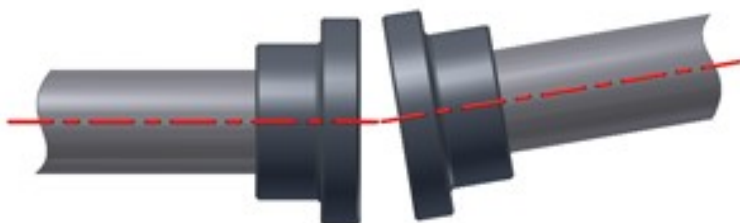
Hřídelové osy v původním stavu před montáží byly v položení rovnoběžném. Když dojde k montáži spojky, následuje zvětšené namáhání, kdy jsou poškozovány hřídele a projevuje se poškození i dalších součástek. Spojka je také vystavena výraznému poškozování. Za výsledný projev považujeme zvětšené vibrace v radiálním směru. Druhý násobek harmonického signálu často působí větší hodnotou než složka otáček. Čím víc roste hřídelové přesazení, tak tím víc se vytvářejí amplitudy ve spektru frekvencí, které dosahují harmonického násobku čtyřnásobně až osminásobně. [39]



Obrázek 31 Nesouosost rovnoběžná [43]

3.2.2. Nesouosost úhlová

Hřídelové osy v původním stavu před montáží byly v položení nerovnoběžném, ale docházelo k jejich protnutí. Za následek to má zvětšené vibrace v axiálním směru. Amplituda ve spektru frekvencí může být zvětšená na jednonásobku, dvojnásobku a na trojnásobku frekvence (harmonická frekvence). Rozdíl fází u spojky, konkrétně na obou stranách, je opačného působení, tím pádem je rozdíl fází 180° . [39]



Obrázek 32 Nesouosost úhlová [44]

4. Problematika měření termokamerami

Při využití termokamer u měření v praxi může dojít k mnoha typům chyb měření. Data zpracovaná chybou můžou mít za následek chybné hodnoty teplot na povrchu a může dojít až k nesprávným závěrům postavených právě na těchto chybných hodnotách. Aby výsledky vykazovaly správnost a tím pádem mohly být i závěry daného měření správné je nutné počítat s některými faktory [45]:

- a) Je nutné vzít v potaz vlastní chybu měřicího zařízení (termokamery). Tuto vlastní chybu udává výrobce termokamery.
- b) Dále je nutné správné stanovení emisivity, vhodné nastavení zdánlivé odražené teploty, nastavení hodnot způsobených vlastním vyzářením a atmosférický útlum (tyto hodnoty se nastavují v termokameře).
- c) Ve finále je nutné dodržet správnost postupu při měření (informovanost o objektu, který podléhá měření).

4.1. Termokamera a její vlastní chyba

U termokamery není zvláštností, že stejně jako ostatní přístroje určené k měření, vykazuje vlastní chybu hodnot naměřených. Výrobce termokamer udává, jak velká vlastní chyba se může projevit v naměřených hodnotách. V současné době se v popisech od výrobců pohybují dvě stanovení (**$\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo $\pm 2\text{ }\%$ z naměřených hodnot, $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo $\pm 1\text{ }\%$ z naměřených hodnot**). Druhá ze stanovených hodnot vlastní chyby ($\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo $\pm 1\text{ }\%$ z naměřených hodnot) je v současnosti známkou kvality termokamer. Termokamery dosahující této špičky jsou ty nejkvalitnější a nejlepší termokamery pro měření. Jejich cena se může pohybovat nad 500 000 Kč. Tolerance $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo $\pm 2\text{ }\%$ je v dnešní době standartní hodnota. Vlastní chyba termokamery by však neměla přesahovat údaj horší jak $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo $\pm 5\text{ }\%$. [45]

Parametr tolerance vlastní chyby je uváděn v zápisu $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo $\pm 2\text{ }\%$ a také ve tvaru $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo $\pm 1\text{ }\%$. Pravidlem je, že platí z těchto dvou ten, který se jeví horším. Lze dobře vysvětlit na uvedeném příkladu. Vezmeme-li měření povrchu termokamerou, který má teplotu $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a když tato kamera disponuje vlastní měřicí chybou $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo $\pm 2\text{ }\%$, tak tím

pádem výsledkem měření bude teplota 10 ± 2 °C. Ale když bude měřen povrch, který bude dosahovat teploty 200 °C, pak výsledek naměřené hodnoty, která bude naměřena úplně stejnou termokamerou (termokamera s vlastní chybou ± 2 °C nebo ± 2 %), bude 200 ± 4 °C, protože když z celkové teploty 200 °C vezmeme 2%, tak to dělá 4 °C a jak je vidět, tak platí větší z údajů (4 °C $>$ 2 °C). Lze tedy konstatovat závěr, že termokamerou naměřená hodnota je 200 ± 4 °C a za konečný výsledek měření můžeme brát kteroukoliv z teplot, které náleží intervalu $\langle 196$ °C, 204 °C>. Použitá termokamera není schopna určit potřebnou hodnotu měření s větší přesností, a proto teplotní interval nám poukazuje na to, že měření pomocí termokamery se provedlo s nejistotou měření. Jedná se o problém, který má pevný základ a měřicí metodika ho nemůže snížit. V praktickém použití tedy je výsledek a jeho měřicí chyba větší, protože musíme vzít v potaz, že i další volené parametry lze stanovit s nejistou hodnotou (např. emisivita), nebo nemůžeme přesně určit vliv těchto parametrů (např. teplota zdánlivě odražená). Z tohoto důvodu musíme brát hodnotu vlastní měřicí chyby ± 2 °C nebo ± 2 % respektive ± 1 °C nebo ± 1 % s určitou hranicí. Když je použita termokamera, kterou lze kalibrovat, tak bude měřená hodnota kvalitnější, ale je nutné pochopit skutečnost, že za tuto hodnotu výrobce neručí. [45]



Obrázek 33 Různé druhy termografických zařízení (firma FLUKE) [46]

4.2. Parametr emisivity, atmosféra a teplota zdánlivě odražená

Tyto parametry je nutné zmínit v oblasti problematiky, protože mohou výrazně ovlivňovat kvalitu měření svým nepřesným nastavením. Proto je nutné přesně stanovit emisivitu pro daný měřený povrch. Je nutné zjistit teplotu zdánlivě odraženou a posledním parametrem je atmosférická působnost.

4.2.1. Emisivita

Hodnota kvantity tepelného záření, které povrch předmětu vyzařuje, závisí na teplotě předmětu, ale také na emisivitě. Můžeme emisivitu považovat za vyzařovací efektivitu. Když má emisivita větší hodnotu, která se blíží k 1, pak povrch za dané teploty vyzařuje větší množství tepelného záření. Je-li emisivita rovná 1, pak povrch je schopen vyzařit horní hranici celkového množství záření tepla. Tento jev je schopen nastat jenom v případě jednání se o povrch černého tělesa. V praxi nejsme schopni dosáhnout hodnot, které má ideálně černé těleso. [45]

Když začne termokamera zaznamenávat záření tepla z objektu, který podstupuje měření, konkrétně z povrchu objektu (je nutné si odmyslet působnost teploty zdánlivě odražené). Bude-li v termokameře předem nastavený parametr emisivity vyšší, než je reálný parametr emisivity, pak termokamera bude čekat větší množství záření tepla za působící teploty povrchu objektu, který je měřen. Jelikož dojde k naměření menší hodnoty záření, tak na tomto základě termokamera bude stanovovat, že teplota povrchu má v realitě nižší hodnotu. Když toto tvrzení převrátíme a bude nastaven parametr emisivity větší, pak termokamera bude čekat větší množství záření tepla za působení dané teploty povrchu a z tohoto důvodu bude kamera vyhodnocovat nižší hodnotu teploty povrchu objektu, který podstupuje měření. [45]

Jak bylo výše řečeno, tak je jasné, že měření a konkrétně jeho přesnost ovlivňuje emisivita a její nastavení. Je nutné zmínit, že nesprávným nastavením emisivity může dojít k velkým chybám měření (závisí na spoustě okolností). Nutností jsou školení o využívání termokamer. [45]

4.2.2. Atmosféra

Atmosférický vliv je ze trojice parametrů a z pohledu problematiky tím nejmenším problémem. Vliv atmosféry, jako například záření tepla a jeho útlum nebo také sálání záření tepla, lze nahradit s lepší přesností po naměření teploty atmosféry, vlhkosti (nachází se v atmosféře) a vzdálenosti od zařízení, které podstupuje měření. Tyto hodnoty se zadávají do měřicího zařízení, tedy do termokamery nebo je lze zadávat do softwarových programů, které slouží k práci a následnému zpracování fotografií, pořízených termokamerou. [45]

4.2.3. Teplota zdánlivě odražená

Tento parametr je možné definovat, jako záření tepla okolí, které je odráženo od měřeného tělesa, konkrétně od povrchu, který vykazuje lesklost. Tento odraz, který je odrážen od lesklého povrchu, nepříznivě ovlivňuje měření pomocí termokamery svým dopadem na detektor kamery, kterou se provádí měření. Poté není možno pro termokameru rozlišit, jestli se jedná o vlastní záření tepla nebo jestli se nejedná o odražené záření, vyvolané vlivem tepla. Z tohoto důvodu je nutnost zadání odraženého záření tepla a stanovit jeho parametr do využívané termokamery, aby mohl být vnímán vliv termokamerou a mohlo tak dojít k náhradě tohoto nepříznivého vlivu. [45]

Je velmi nutné zmínit, že působení teploty zdánlivě odražené je větší z důvodu, kterým je povrch se svým odrazem (samozřejmě se jedná o část pásma vln s citlivostí použité termokamery). Když povrchový odraz vykazuje menší parametr, tak tím pádem parametr emisivity je vyšší, lze tak usuzovat na základě Kirchhoffova zákona. Obecně tedy je dána platnost, že čím je menší parametr teploty zdánlivě odražené, tím můžeme pozorovat emisivitu o vyšším parametru. Když emisivita dosahuje vysokých hodnot pohybujících se okolo 0,95 a vyšší, stačí v některých případech teplotu zdánlivě odraženou jenom přibližně určit (pomocí odhadnutí hodnoty a pomocí základních zkušeností). Tento problém můžeme především sledovat, když dochází k měření teplot v oblasti stavebnictví, kde měříme povrch u dané konstrukce, ale interiér této konstrukce vykazuje emisivitu o vysoké hodnotě, při technické diagnostice budov. [45]

5. Problematika poruch elektromotorů

Na počátku této kapitoly je nutné zmínit, že využití elektromotorů, jako pohonů v průmyslu, má velké uplatnění. Proto je nutné se zmínit hlavně o poruchách elektromotorů, které mohou nepříznivě ovlivňovat funkčnost strojírenské soustavy, v tomto případě elektromotor-čerpadlo. Budou zde uvedeny pouze poruchy a problémy elektromotorů, protože kapitola zahrnující rozdělení elektromotorů, jejich funkčnost a princip by byla příliš zdouhavá a nepříliš stručná. Pro diagnostickou stránku vystačí popis základních problémů elektromotorů. [47]

5.1. Statorová excentricita a zkratované plechy

Stator a jeho případné problémy mohou způsobovat zvětšené vibrace, které můžeme sledovat na dvojnásobku frekvence sítě. Statorová excentricita, kterou lze také popsat statickou vůlí (nerovnoměrná vůle) mezi dvěma částmi, statorem a rotorem. Tento problém může způsobovat mezi statorem a rotorem mezeru vzduchu, která je stacionárně nerovnoměrná. A tato mezera vzduchu způsobuje vysoké vibrace směru. Vůle této mezery u motorů indukčních by neměla překročit 5 % a u motorů synchronních by neměla přesáhnout hodnotu 10 % velikostí vzduchové mezery. Tato statorová excentricita je v častých případech způsobena základem pro elektromotor, který je doformovaný, anebo problémem, který nazýváme měkká patka. Je také možnost pozorovat jev, který se nazývá „volné železo“. Ten může být následkem uvolnění nebo nedostatečné tuhosti statorové části, která je i částí nosnou. Dalším problémem v této části je problematika plechů statoru a jejich podléhání zkratu. Ten jev může vést k problémům s ohřevem nerovnoměrně lokalizovaným, a to vede často k statorovým poruchám, které mají za následek vibrace (teplotou indukované). Tyto vibrace mohou s rostoucí se časem výrazně navyšovat svou hodnotu. Problém lze výrazně vidět v projevu vibrací a lze jej sledovat i na snímcích pořízených termografickým zařízením (zvětšená teplota elektromotoru). [47]

5.2. Rotorová excentricita

Na rozdíl od excentricity statoru se u rotorové excentricity projevuje problém mezery vzduchu a tato mezera se v průběhu rotace mění mezi statorem a rotorem. Mezera vzduchu způsobuje vibrace, které pulsují v oblasti druhého násobku frekvence sítě a nejbližšího násobku (harmonického) frekvence otáček. Když se provádí analýza frekvenčního spektra je ve většině případů nutné, velké přiblížení spektra frekvencí, z důvodu odlišení dvojnásobku frekvence sítě ($2f_L$) a následný násobek frekvence otáček. Frekvenční složka $2f_L$ je produkována rotory s excentricitou. Na každé straně dvojnásobku frekvence sítě se nachází pásmo s průchodovou pólovou frekvencí (f_p). Tyto pásma na stranách průchodové pólové frekvence se také nacházejí v okolí frekvence otáček. Když pozorujeme samostatnou f_p zjistíme, že je možné ji pozorovat na nižších frekvencích (průchodová pólová frekvence = frekvence skluzu \times pólový počet). Průchodová pólová frekvence a její časté hodnoty se většinou pohybují v rozmezí 20-120 cyklů/min, což činí 0,3-2 Hz. Jedná se problém, vznikající v důsledku měkké patky nebo nesouososti zařízení. Skutečnost ukazuje na to, že se nejedná o problém elektrický, ale o mechanickou problematiku. [47]

5.3. Rotorová problematika

Do těchto poškození, které vznikají u rotoru elektromotoru, můžeme řadit například zlomeninu nebo prasklinu na tyči rotoru nebo na prstenci koncovém. Řadíme zde také zkrat plechů rotoru. Následek těchto problémů jsou zvětšené vibrace na rotorové frekvenci otáček s pásmy na obou stranách od pólového průniku (f_p). Tyto poruchy způsobují i tyto pásma na stranách i v okolí otáčkových harmonických násobků. [47]

5.4. Napájení proudu a jeho analýza

Některé závady lze pomocí diagnostiky analyzovat z napájecího proudu. Když se například objeví prasklina tyče rotoru, lze zaznamenat problém z analýzy proudu napájení, protože při zlomení tyče rotoru budou další okolní rotorové tyče přejímat zátěž vyvolanou proudem. Proudům úměrně narůstá ohřev a následkem zvýšené teploty a ohřevu dochází k rotorovému prohýbání. Z důvodu aby chom dosáhli účinnosti se vytvoří mezi statorem a

rotorem, mezera vzduchu tak malá, že může tento problém přejít v totální destrukci celého motoru, protože rotor se může dostat do kontaktu se statorem. Aby bylo možné předcházet této kolizi, využívá se metody, která slouží k diagnostice (analýze) proudu napájecího elektromotor, měření za pomoci ampérmetru (klešťový ampérmetr) [47]



Obrázek 34 Klešťový ampérmetr FLUKE [48]

Signál proudu napájecí elektromotor, který je následně tímto měřicím zařízením měřen, se poté z něj přemísťuje do analyzátoru FFT, kde je následovně vytvořeno spektrum frekvencí v prostoru napájení frekvence (nejčastěji 50 Hz). Z důvodu výskytu jistého nesymetrického jevu u každého rotoru, se následně ve spektru objevují pásma na stranách s odstoupením frekvence skluzu, konkrétně frekvenčního dvojnásobku. Je-li ve spektru frekvencí proudu napájecího elektromotor zaznamenáno odstoupení pásem na straně vůči maximální špičce, kterou má proud, co napájí a tato maximální špička, respektive její hodnota je přibližně 60 dB, pak rotor shledáváme v pořádku. Nastane-li vada na tyči rotoru dochází ke zmenšení tohoto odstupu. Na závěr je nutné zmínit, že pro diagnostiku elektrických závad je nutné, aby motor byl plně zatížen. Důvodem je, že proudovému kvadrátu jsou úměrou síly elektrické. [47]



*Obrázek 35 Elektromotor v soustavě elektromotor-čerpadlo (09b) přečerpávání
čpavkové vody, měření vibrací v místě L1 [autor]*



*Obrázek 36 Elektromotor v soustavě elektromotor-čerpadlo (49B), předčišťovací
stanice, měření vibrací v místě L1 [autor]*

6. Diagnostika soustav čerpadel v OKK Koksovy a.s.

Praktická část této bakalářské práce se věnuje technické diagnostice. Konkrétně byly využity dva obory technické diagnostiky, a to diagnostika vibračních strojních zařízení a termografie strojních zařízení. Toto diagnostické měření podstoupilo 13 lamelových čerpadel poháněných elektromotory různých výkonů a otáček. V praktické části bude uveden způsob měření, počet měření, vyhodnocení spekter a termografických snímků, užití přístroje na měření, tabulky naměřených hodnot a výběr měřících míst. Byly provedeny celkově dvě měření 20.2. 2018 a 7.5. 2018.

6.1. Použité měřící stroje

Při diagnostice vibrační byl použit přístroj na měření vibrací, který je vyráběn a vyvíjen firmou ADASH a.s. Jedná se o konkrétní model ADASH VA4PRO. Je to analyzátor, který je přenosný, a slouží k vibračnímu měření. Jeho technologie vychází z takzvaného DSP (*Digital Signal Processing*). Provedené vibrační měření bylo v souladu s normou ČSN ISO 10816-3. [49]



Obrázek 37 Přístroj na měření vibrací ADASH VA4PRO [autor]

Na pořízení termografických snímků a na termodiagnostiku celkově, byla použita termokamera od firmy FLUKE (FLUKE TI35). Jedná se termokameru s citlivým detektorem. Citlivost použitého termografického měřicího přístroje je 0,1 °C. Výhodou termokamery je jednoduchost při snímání teplot v provozu. Je přenosná a velmi flexibilní. [50]



Obrázek 38 Termokamera FLUKE TI35 [50]

6.2. Hodnocení vibračního měření

Nutné poukázat na to, že hodnocení vibračního měření bylo provedeno v souladu s normou ČSN ISO 10 816-3. Na čerpadlech v provozu byly měřeny pomocí měřicího přístroje na měření vibrací dvě veličiny. První veličinou je efektivní hodnota rychlosti vibrací (v_{RMS}), [mm/s]. A druhou měřenou veličinou u vibračního měření byla efektivní hodnota zrychlení vibrací (a_{RMS}), [g]. Pásmo měření a hodnoty doporučující normou jsou uvedeny v Tabulce 1 a Tabulce 2.

Tabulka 1 Doporučené hodnoty efektivní rychlosti vibrací dle ČSN ISO 10 816-3 v pásmu 10-1000 Hz [53]

Pásmové rozhraní	Efektivní hodnota rychlosti vibrací [mm/s]
A/B	2,3 mm/s
B/C	4,5 mm/s
C/D	7,1 mm/s

Tabulka 2 Doporučené hodnoty efektivního zrychlení vibrací v pásmu 500-25000 Hz
(doporučeno vedoucím práce)

Pásmové rozhraní	Efektivní hodnota zrychlení vibrací
A/B	0,5 g
B/C	2 g
C/D	4 g

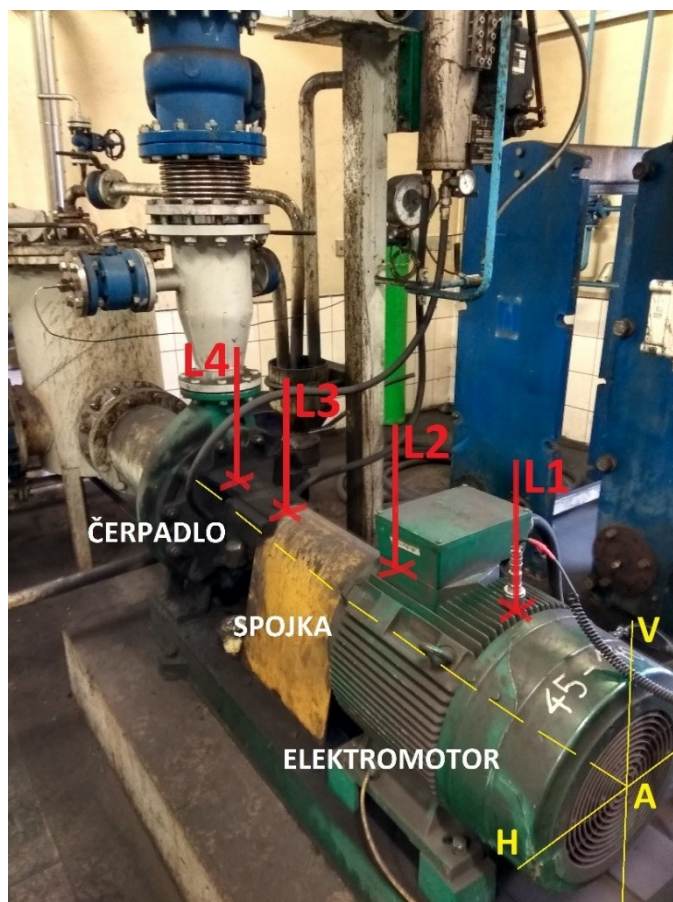
Podle naměřených hodnot vibrací budou strojní zařízení (soustavy čerpadel) hodnoceny na základě doporučených hodnot hodnoceny pomocí zařazení dané soustavy čerpadel do rozhraní pásem. U v_{RMS} je složení pásem: **pásmo A** do 2,3 mm/s, **pásmo B** od 2,3 do 4,5 mm/s, **pásmo C** od 4,5 do 7,1 mm/s a poslední **pásmo D** 7,1 mm/s a více. Dle barev vyplývá užití efektu semaforu:

- 1) **Pásmové rozhraní A**. V tomto hodnotícím pásmu se budou řadit hlavně nové strojní zařízení. Nízké vibrace.
- 2) **Pásmové rozhraní B**. Hodnotící pásmo vibrací v tomto pásmu odpovídá strojním zařízením provozovány neomezeně dlouhou dobu, dostává se jím pravidelné a kvalitní údržby. Avšak hodnoty pohybující se u hraniční hodnoty pásma C nám mohou už začít poukazovat na případné zhoršení stavu v průběhu času.
- 3) **Pásmové rozhraní C**. Vyhodnocením vibrací a zařazením do tohoto hodnotícího pásma vyplývá, že strojní zařízení jsou neuspokojivé pro dlouhodobější nebo trvalý provoz. Obecně se dají takto vyhodnocené strojní zařízení provozovat do doby, než bude nalezena nápravná možnost. Mohou, ale už s větší jistotou poukazovat na vznikající problémy trvalejšího charakteru a na trvalejší poruchovost stroje, ba dokonce se pomocí těchto dat naměřených v pásmu C dají určovat predikce určující havárii strojního zařízení.
- 4) **Pásmové rozhraní D**. Hodnoty naměřených vibrací zařazené do tohoto pásma nás informují, že za normálních okolností mohou tyto vibrace vyvolat rozsáhlá poškození strojního zařízení. Tyto rozsáhlá poškození mohou s velkou pravděpodobností vyvolat fatální poškození strojů, havárii strojů nebo porušování bezpečnosti průmyslového provozu. Může se v extrémních situacích jednat o ohrožení zraněním obsluhy stroje.

Závěrem je potřeba uvést, že každá čerpadlová soustava bude vyhodnocena zvlášť na základě naměřených hodnot. Bude vyhodnocen celkový technický stav stroje rozdělením na tři hlavní kvalifikace: **VYHOVUJÍCÍ**-**ZHORŠENÝ**-**NEPŘIJATELNÝ** a následovně pak budou naměřené hodnoty určeny ještě podle kvalifikačních pásem (A, B, C, D).

6.3. Měřicí místa a směry

Počet měřících míst byl stanoven na čtyři měřicí místa. Měřicí místa byly vybrány v oblasti, kde se nacházejí ložiska. Z toho plyne označení těchto čtyř měřících míst: **měřicí místo jedna (L1)**, **měřicí místo dva (L2)**, **měřicí místo tři (L3)** a **měřicí místo čtyři (L4)**. Každá strojní soustava, která podstoupila měření, má složení stylem: motor → spojka → čerpadlo. Pořadí měřících míst je stanoveno následovně. Měřicí místo L1 počínaje prvním ložiskem, které se nachází v oblasti elektromotorového ventilátoru a nejvzdálenější měřicí místo L4 konče oblastí ložiska, které leží v blízkosti čerpadlového kola oběžného. Znázornění všech měřících míst je zobrazeno na Obrázku 3.



Obrázek 39 Složení strojní soustavy, směry měření, měřicí místa, soustava čerpadla 09b [autor]

Na obrázku 3 lze také vidět směry, ve kterých bylo prováděno měření na všech měřících místech. Výjimkou budou dvě měřené strojní soustavy, kde bude měření prováděno jen v měřícím místě L3 a L4 z důvodu nemagnetického materiálu tělesa elektromotoru. Těmito směry měření jsou směr vertikální (V), směr horizontální (H) a směr axiální (A). V této posloupnosti budou tyto směry uvedeny v tabulkách (V, H, A).

6.4. Hodnocení termografického měření

Termografické snímky byly pořízeny termokamerou FLUKE TI35. Jejich zpracování a hodnocení bylo provedeno v počítačovém programu SmartView 3.14. U následných jednotlivých hodnocení čerpadel budou uvedeny termografické snímky pro pohled na základní části strojní sestavy. Více termografických snímků bude uvedeno u čerpadel s teplotními problémy. V počítačovém programu na zpracování termografických snímků bylo nutné nastavit emisivitu v rozmezí 0,9-0,95, byla vybrána hodnota 0,93. Teplota okolí byla volena 23 °C a přesnost byla stanovena na 99 %. U každé strojní soustavy bylo pořízeno pět termografických snímků.

7. Vyhodnocení jednotlivých čerpadel

V této části bude uveden seznam jednotlivých pracovišť a čerpadel na těchto pracovištích. Bude vždy dodána tabulka s naměřenými hodnotami. U čerpadel s vyhodnoceným problémem budou dodány spektra a termografické snímky. Poté budou všechny fakty zohledněny pro zařazení strojní soustavy do jednotlivých pásem a bude vyhodnocen celkový stav. V Tabulce 3 je uveden seznam pracovišť a čerpadel. Dále je uvedeno, kdy byly jednotlivé strojní soustavy měřeny.

Tabulka 3 Seznam pracovišť, čerpadel a jejich stav, datum měření, X-měření provedeno, MS-malá strojovna, VS-velká strojovna [autor]

Pracoviště	Označení soustavy	20.02.2018	07.05.2018
Předčišťovací strojovna	48B	-	X
	49B	X	X
	50B	X	X
Benzolová absorpce (MS)	24B	X	X
Benzolová absorpce (VS)	19A	X	X
	6A	X	X
	7A	X	X
Benzolka	8B	X	X
	7D	-	X
	7B	X	-
	9B	X	X
Absorpce čpavkové vody	6B	X	X
	09b	X	X
Roztok STRETFORD	10b	-	X
	101B	-	X

7.1. Předčišťovací stanice (strojovna)

Jedná se o čerpadlovou strojovnu, která slouží k předčišťování čpavkové vody. Jedná se o technický roztok, se ve vodě nachází syntetický čpavek (amoniak). Vlastností této kapaliny je velká žíravost, jejíž vliv se může projevovat na potrubních řádech i na samotném čerpadle a jeho součástech. Čpavkovou vodu lze určit také podle intenzivního zápachu. Je zásaditě silně reakční. Stanice předčištění je novější strojovna, ve které je při očním kontaktu patrná čistota pracovního prostředí pro čerpadla. [51]

7.1.1. Strojní soustava 48B

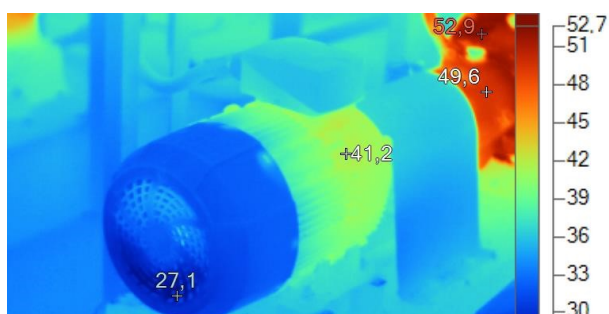


Obrázek 40 Čerpadlová soustava 48B (Vpravo 48A) [autor]

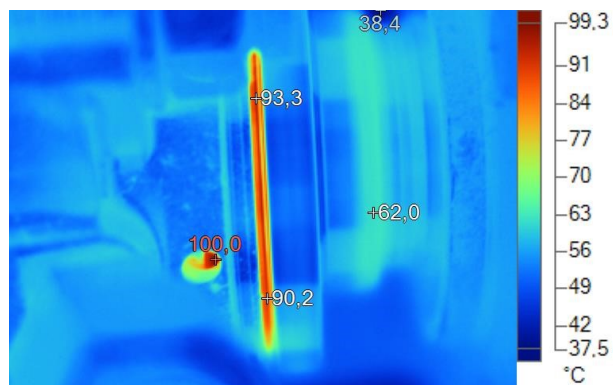
Jako pohon strojní soustavy slouží elektromotor, který byl vyroben firmou SIEMENS o výkonu 18,5 kW a otáčkách 1470 ot/min. Soustava byla měřena 7.5. 2018.

Tabulka 4 Naměřené hodnoty z jednoho měření strojní soustavy 48B [autor]

Datum			Měřicí místa			
			L1	L2	L3	L4
7.5.	Rychlost vibrací [mm/s ⁻¹]	V	-	-	0,286	0,766
		H	-	-	0,539	1,13
		A	-	-	0,295	0,691
	Zrychlení vibrací [g]	V	-	-	0,119	0,177
		H	-	-	0,128	0,184
		A	-	-	0,322	0,294



Obrázek 41 Termografický snímek Elektromotoru 48B (7.5.) [autor]



*Obrázek 42 Termografický snímek ucpávky čerpadla 48B (7.5.)
[autor]*

U tohoto čerpadla 48B byly provedeno měření vibrací jenom na dvou místech, a to z důvodu nemagnetické slitiny, ze které je vyrobena konstrukce elektromotoru. Hodnoty efektivní rychlosti vibrací a efektivní zrychlení vibrací se všechny nacházejí v hodnotícím pásmu A (rychlost a zrychlení). Ze série pořízených termografických snímků není patrná žádná porucha, která by souvisela se zvětšenou teplotou. Proto lze tvrdit, že měřená strojní soustava 48B má dle vyhodnocení **VYHOVUJÍCÍ STAV**.

7.1.2. Strojní soustava 49B

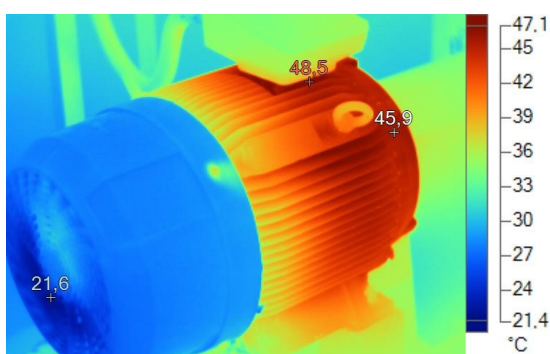


Obrázek 43 Čerpadlová soustava 49B (vpravo 49A) [autor]

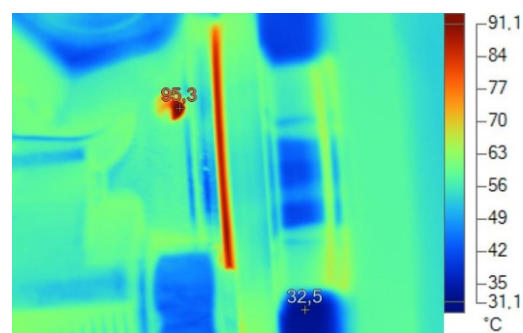
Jako pohon strojní soustavy slouží elektromotor, který byl vyroben firmou SIEMENS o výkonu 18,5 kW a otáčkách 1470 ot/min. Soustava byla měřena 20.2. 2018 a 7.5. 2018.

Tabulka 5 Porovnání naměřených hodnot na strojní soustavě 49B [autor]

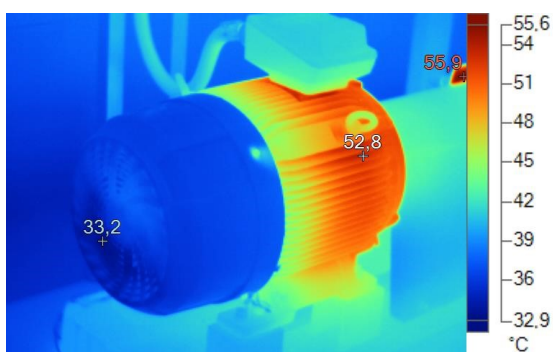
Datum			Měřicí místa			
			L1	L2	L3	L4
20.2.	Rychlost vibrací [mm/s ⁻¹]	V	0,385	0,791	0,602	0,579
		H	0,706	0,676	0,695	0,585
		A	0,43	1,06	0,601	0,535
	Zrychlení vibrací [g]	V	0,118	0,157	0,464	0,285
		H	0,134	0,131	0,436	0,269
		A	0,385	0,153	0,447	0,448
7.5.	Rychlost vibrací [mm/s ⁻¹]	V	0,866	0,528	0,659	0,557
		H	1,28	0,45	0,611	0,367
		A	0,531	0,484	0,524	0,492
	Zrychlení vibrací [g]	V	0,182	0,142	0,386	0,293
		H	0,176	0,13	0,385	0,317
		A	0,152	0,145	0,439	0,367



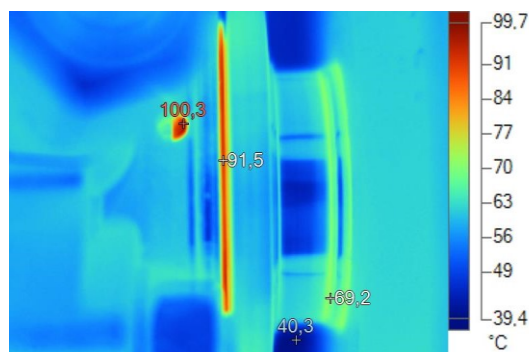
Obrázek 45 Termografický snímek elektromotoru 49B (20.2.) [autor]



Obrázek 44 Termografický snímek ucpávky čerpadla 49B (20.2.) [autor]



Obrázek 47 Termografický snímek elektromotoru 49B (7.5.) [autor]



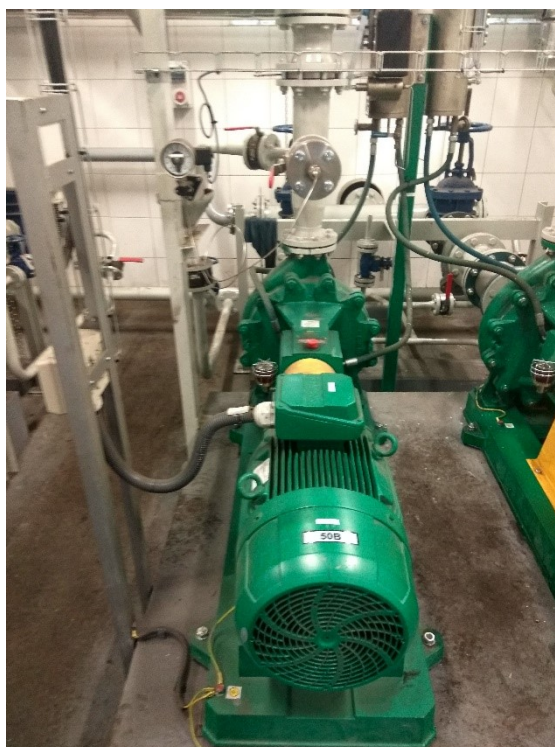
Obrázek 46 Termografická snímek ucpávky 49B (7.5.) [autor]

U této čerpadlové soustavy 49B bylo provedeno měření na všech měřicích místech (L1, L2, L3, L4). Dle naměřených hodnot při obou měřeních se pohybují hodnoty efektivní rychlosti vibrací a efektivní hodnoty zrychlení vibrací všechny v pásmu A. Při rozboru termografických snímků nebyla nalezena žádná zvýšená teplota, která by způsobovala poruchovost stroje. **Při ohledání a vizuální kontrole strojní sestavy 49B bylo zjištěno, že ve spodní části ucpávky je vzniklá středně malá netěsnost. Šlo pozorovat unikání kapaliny mísené s mazivem.** Ale vzhledem k hodnotám vibrací, nacházející se v pásmu A (rychlost i zrychlení), je stav strojní soustavy 49B **VYHOVUJÍCÍ**.



*Obrázek 48 Ukázka měření vibrací u strojní soustavy 49B
v měřicím místě L1 [autor]*

7.1.3. Strojní soustava 50B

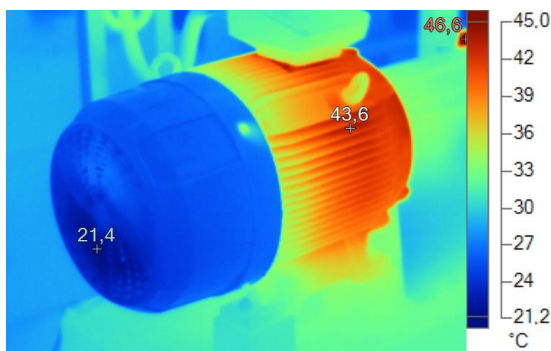


Obrázek 49 Strojní soustava 50B [autor]

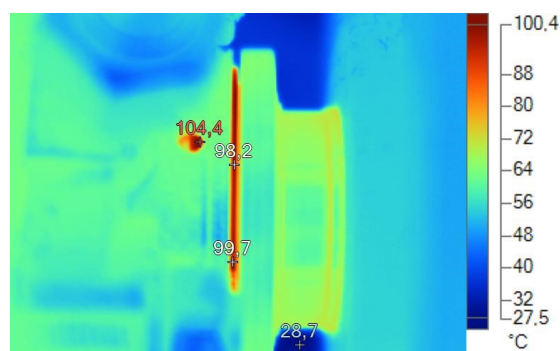
Jako pohon strojní soustavy slouží elektromotor, který byl vyroben firmou SIEMENS o výkonu 18,5 kW a otáčkách 1470 ot/min. Soustava byla měřena 20.2. 2018 a 7.5. 2018.

Tabulka 6 Porovnání naměřených hodnot strojní soustavy 50B [autor]

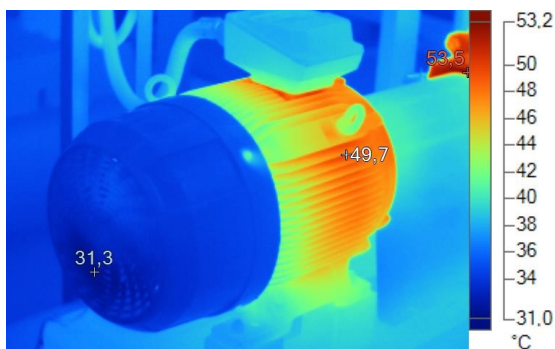
Datum			Měřicí místa			
			L1	L2	L3	L4
20.2.	Rychlost vibrací [mm/s ⁻¹]	V	0,823	0,791	0,612	0,788
		H	1,37	1,1	0,891	0,754
		A	0,421	1,96	0,679	0,624
	Zrychlení vibrací [g]	V	0,116	0,12	0,226	0,174
		H	0,108	0,102	0,299	0,195
		A	0,189	0,142	0,21	0,308
7.5.	Rychlost vibrací [mm/s ⁻¹]	V	1,54	1,03	0,901	0,801
		H	1,13	0,948	0,913	0,672
		A	0,563	1,8	0,724	0,89
	Zrychlení vibrací [g]	V	0,116	0,106	0,198	0,166
		H	0,107	0,094	0,23	0,151
		A	0,174	0,089	0,205	0,308



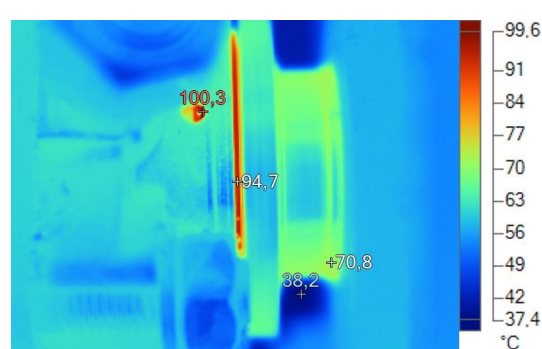
Obrázek 51 Termografický snímek elektromotoru 50B (20.2.) [autor]



Obrázek 50 Termografický snímek ucpávky čerpadla 50B (20.2) [autor]



Obrázek 53 Termografický snímek elektromotoru 50B (7.5.) [autor]

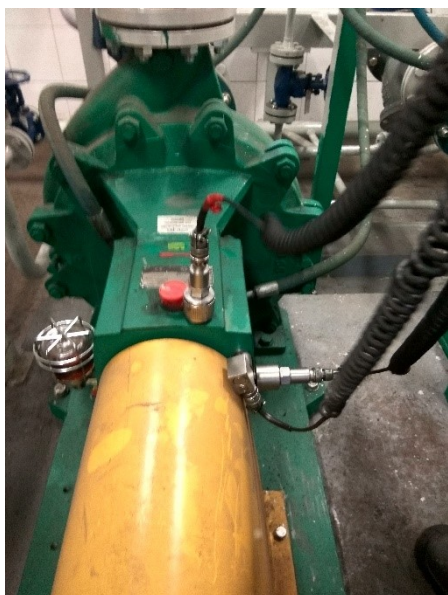


Obrázek 52 Termografický snímek ucpávky čerpadla 50B (7.5.) [autor]

U této čerpadlové soustavy 50B bylo provedeno měření na všech měřicích místech (L1, L2, L3, L4). Dle naměřených hodnot efektivní rychlosti vibrací a efektivního zrychlení vibrací je patrné, že ani jedna z hodnot nepřesahuje do pásma B a tudíž jsou všechny řazeny do hodnotícího pásma A. Z termografických snímků nejsou patrné zvýšené teploty, které by vedly k poruše stroje. Pro vizuální kontrole strojní soustavy 50B nebyly patrné poškození nebo podezřelé zvuky, Proto na tomto základě je vyhodnocený stav strojní soustavy 50B **VYHOVUJÍCÍ**.



Obrázek 54 Ukázka z měření termokamerou, teploty na ucpávce čerpadla 50B [autor]



Obrázek 56 Měření vibrací v místě L3 soustavy 50B [autor]



Obrázek 55 Měření vibrací v místě L4 soustavy 50B [autor]

7.2. Malá absorpční stanice (strojovna)

Jedná se o malou absorpční strojovnu. Byla zde měřena jedna strojní soustava. Čerpadlové soustavy v této strojovně slouží k přečerpávání dehtu a vody z koncového chladiče.

7.2.1. Strojní soustava 24B

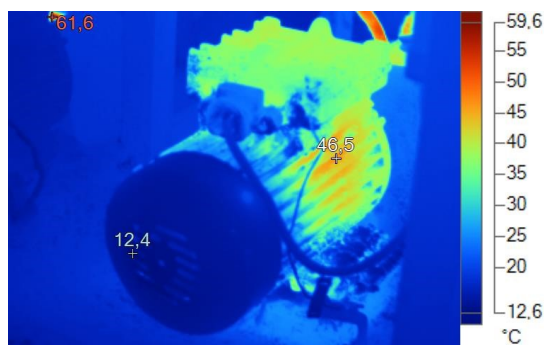


Obrázek 57 Strojní soustava 24B [autor]

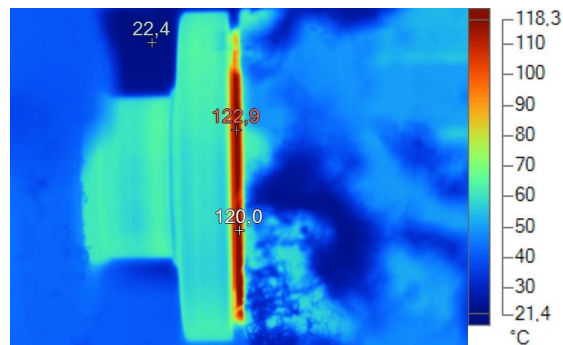
Jako pohon strojní soustavy slouží elektromotor, který byl vyroben firmou MEZ Frenštát o výkonu 4 kW a otáčkách 2870 ot/min. Soustava byla měřena 20.2. 2018 a 7.5. 2018.

Tabulka 7 Porovnání naměřených hodnot strojní soustavy 24B [autor]

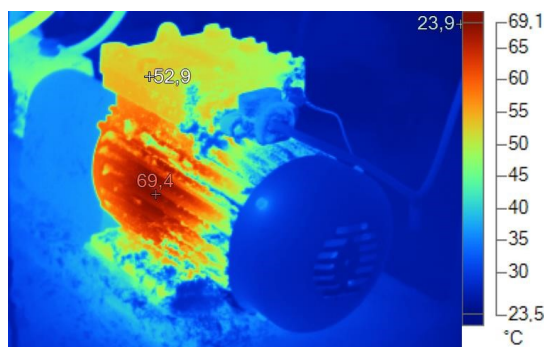
Datum			Měřicí místa			
			L1	L2	L3	L4
20.2.	Rychlost vibrací [mm/s ⁻¹]	V	0,502	0,378	1,02	1,3
		H	0,489	0,391	1,06	0,597
		A	0,439	0,584	0,706	0,715
	Zrychlení vibrací [g]	V	0,24	0,293	0,462	0,442
		H	0,186	0,464	0,58	0,456
		A	0,145	0,22	0,387	0,521
7.5.	Rychlost vibrací [mm/s ⁻¹]	V	0,582	0,483	1,24	1,67
		H	0,491	0,389	0,99	0,576
		A	0,246	1,26	0,638	0,827
	Zrychlení vibrací [g]	V	0,146	0,297	0,445	0,459
		H	0,146	0,349	0,512	0,449
		A	0,183	0,214	0,489	0,528



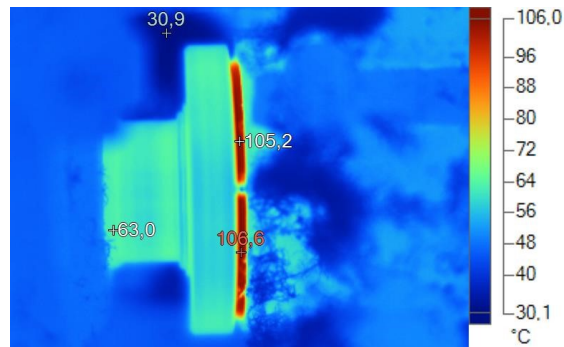
Obrázek 61 Termografický snímek elektromotoru 24B (20.2.) [autor]



Obrázek 58 Termografický snímek ucpávky 24B (20.2.) [autor]

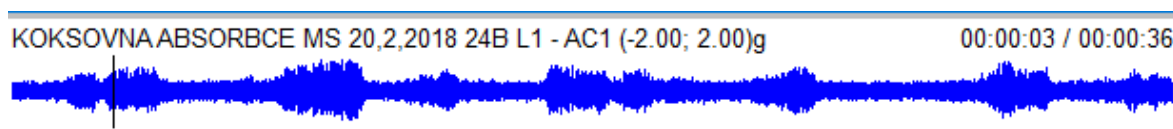


Obrázek 60 Termografický snímek elektromotoru 24B (7.5.) [autor]

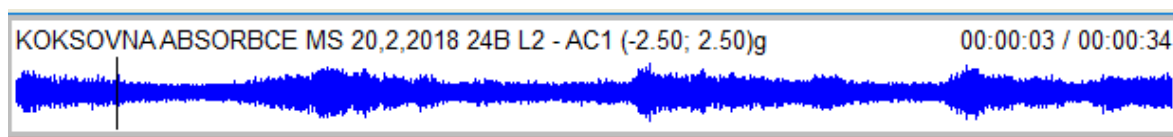


Obrázek 59 Termografický snímek ucpávky čerpadla 24B (7.5.) [autor]

U této strojní soustavy 24B bylo provedeno měření na čtyřech měřicích místech (L1, L2, L3, L4). Všechny hodnoty efektivní rychlosti spadají podle vyhodnocení do pásma A. Ale v místě L4 v obou měřeních se dostala hodnota v axiálním směru přes hranici 0,5 g což už je pásmo B. Ale je to jen nepatrná hodnota. **Ze termografického měření, hlavně pak v měření 20.2. bylo zjištěno mírné zvětšení teploty na ucpávce (cca 120 °C).** Při vizuální kontrole bylo u čerpadla také zjištěny akustické záděry v oblasti elektromotoru. Ty záděry má za vinu nepravidelný chod elektromotoru 24B, to znamená že zařízení pracuje v různých zátěžových stavech (viz. Obrázky).



Obrázek 64 Nepravidelný průběh vibrací v místě L1 (20.2.) [autor]



Obrázek 63 Nepravidelný průběh vibrací v místě L2 (20.2.) [autor]

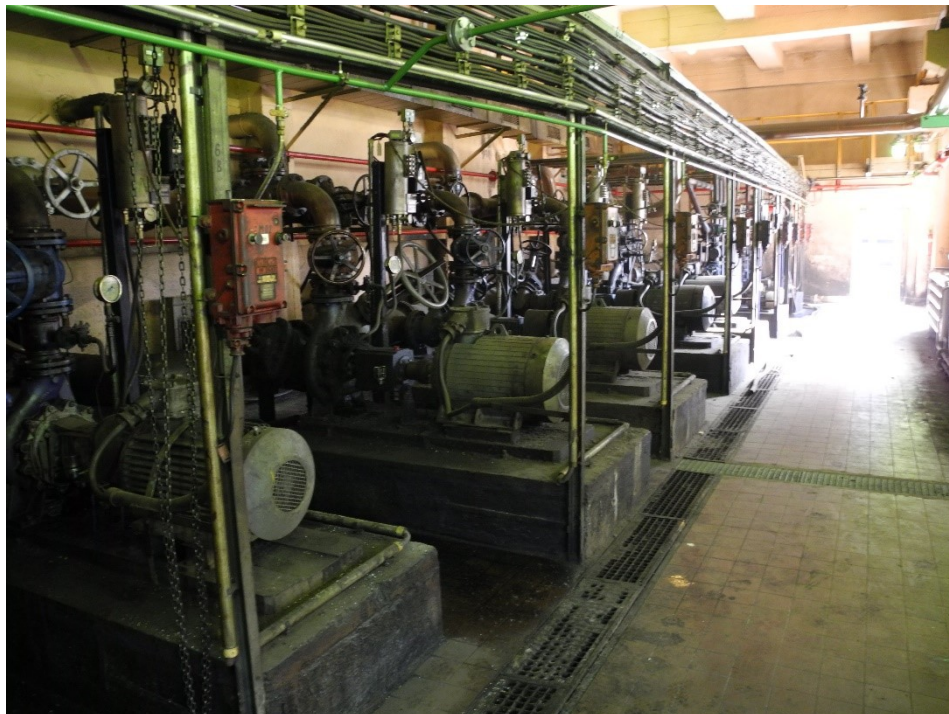


Obrázek 62 Nepravidelný průběh vibrací v místě L2 (7.5.) [autor]

Dále při prozkoumání zařízení pro mazání bylo zjištěno pouze vizuálním posouzením, že olej na mazání ucpávky je v nekvalitním stavu (černá barva maziva). Ale dle vyhodnocení rychlosti a zrychlení soustavy 24B, můžeme konstatovat konečný technický stav za **VYHOVUJÍCÍ**.

7.3. Velká absorpční stanice (strojovna)

Tato strojovna obsahuje větší počet čerpadel. Slouží k čerpání pracího oleje z benzolových praček.



Obrázek 65 Pohled na interiér velké absorpční stanice [autor]

7.3.1. Strojní soustava 19A

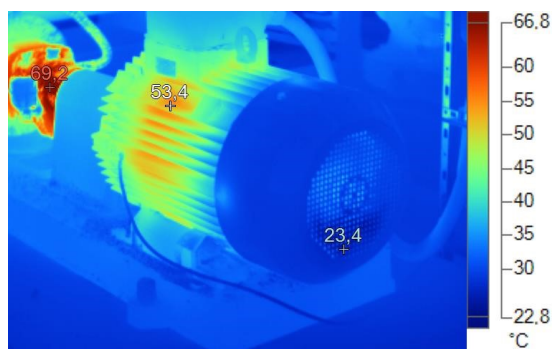


Obrázek 66 Strojní soustava 19A (vpravo 19B) [autor]

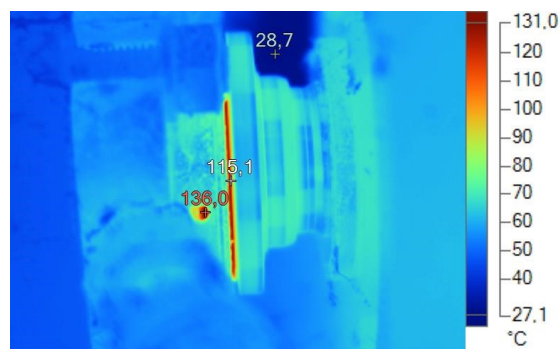
Jako pohon strojní soustavy slouží elektromotor, který byl vyroben firmou SIEMENS o výkonu 37 kW a otáčkách 2950 ot/min. Soustava byla měřena 20.2. 2018 a 7.5. 2018.

Tabulka 8 Porovnání naměřených hodnot strojní soustavy 19A [autor]

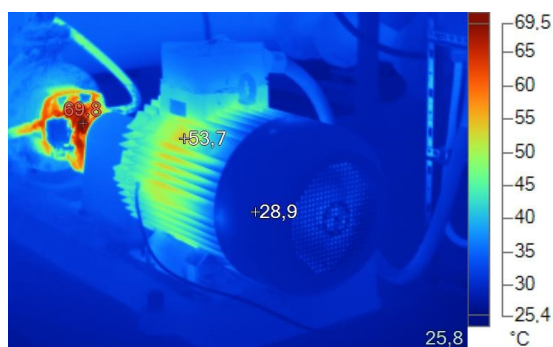
Datum			Měřicí místa			
			L1	L2	L3	L4
20.2.	Rychlost vibrací [mm/s ⁻¹]	V	0,576	4,12	2,04	1,43
		H	1,25	1,19	1,56	1,37
		A	0,992	3,29	0,97	0,972
	Zrychlení vibrací [g]	V	1,74	0,448	0,614	0,379
		H	0,706	0,696	0,674	0,413
		A	0,36	0,912	0,851	0,85
7.5.	Rychlost vibrací [mm/s ⁻¹]	V	0,675	4,06	1,6	1,37
		H	1,15	1,11	1,97	1,33
		A	1,03	2,41	0,802	0,972
	Zrychlení vibrací [g]	V	1,23	0,314	0,513	0,332
		H	1,46	0,43	0,541	0,391
		A	0,339	0,539	0,852	0,724



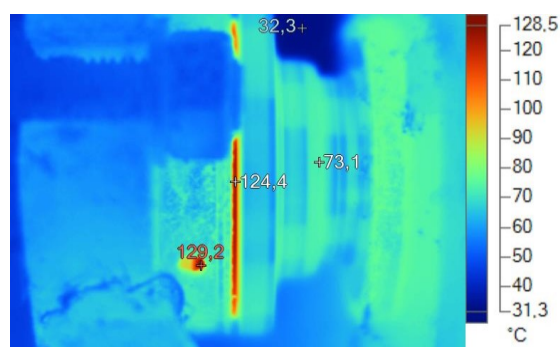
Obrázek 70 Termografický snímek elektromotoru 19A (20.2.) [autor]



Obrázek 69 Termografický snímek ucpávky čerpadla 19A (20.2.) [autor]

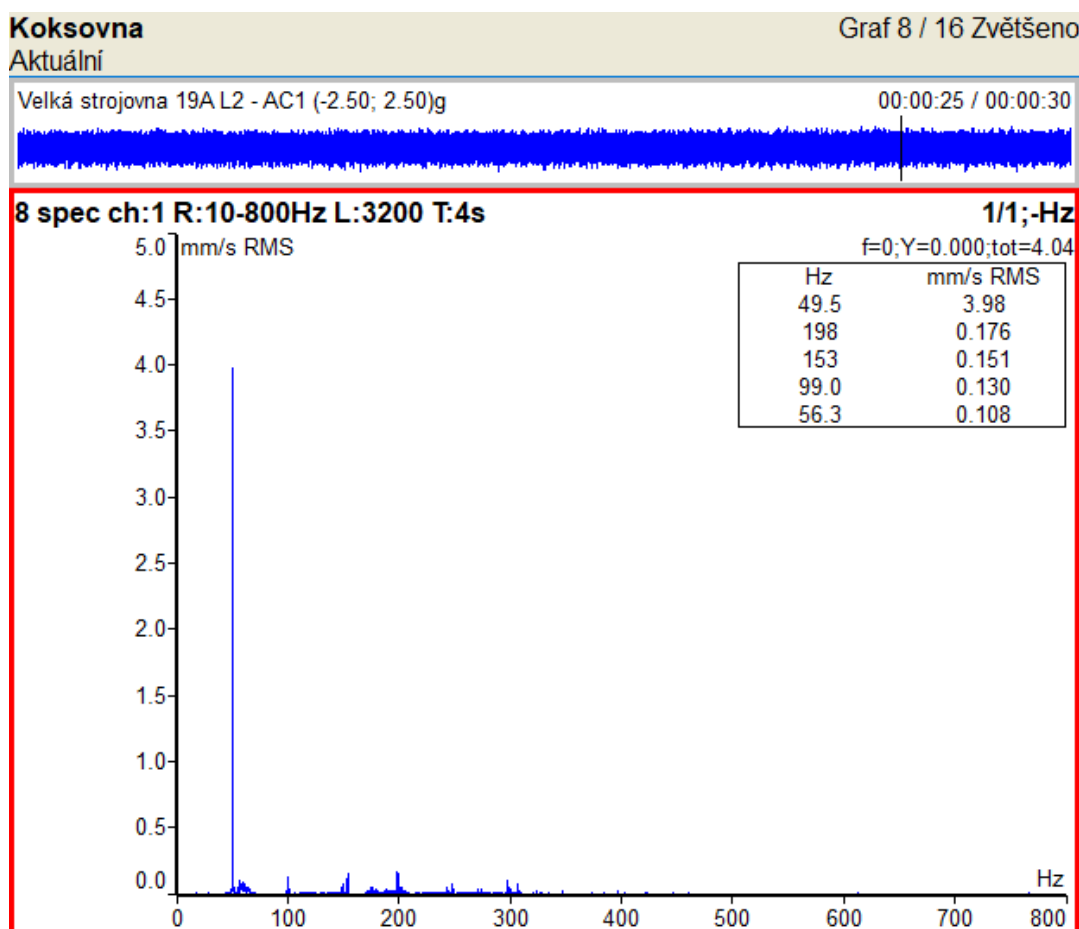


Obrázek 68 Termografický snímek elektromotoru 19A (7.5.) [autor]



Obrázek 67 Termografický snímek ucpávky čerpadla 19A (7.5.) [autor]

Na strojní soustavě bylo měřeno na všech čtyřech měřicích místech (L1, L2, L3, L4). U tohoto čerpadla jsou hodnoty do pásem dovolených hodnot určeny přibližně „půl na půl“ mezi pásmem A a B. Avšak jedna z hodnot při obou měřeních vykazuje vyšší hodnotu, která se přibližuje hraniční hodnotě pásma C. Je to hodnota efektivní rychlosti vibrací v horizontálním směru v místě L2 a to při obou měřeních. Tato hodnota odpovídá jedno násobku frekvence, což poukazuje na nevyváženost v horizontálním směru. Tento závěr byl stanoven už na místě, protože bylo prováděno měření pochůzkou a bylo možné sledovat chování spektra na místě.



Obrázek 71 Spektrum rychlosti vibrací v horizontálním směru v místě L2 u strojní soustavy 19A (7.5.) [autor]

Na termografických snímcích ucpávky je patrná zvýšená teplota (cca 124 °C). Jelikož jsou všechny hodnoty zařazeny do pásma A a B, lze konstatovat technický stav soustavy 19A za **VYHOVUJÍCÍ**.

7.3.2. Strojní soustava 6A

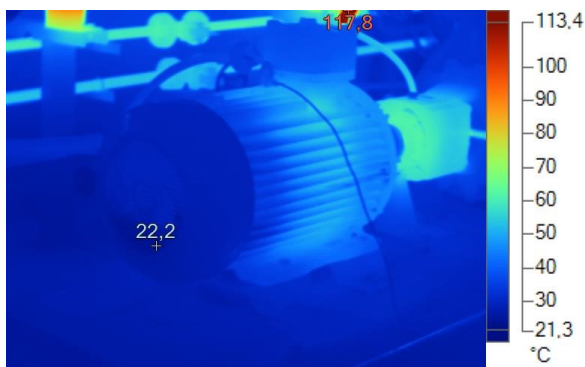


Obrázek 72 Strojní soustava 6A [autor]

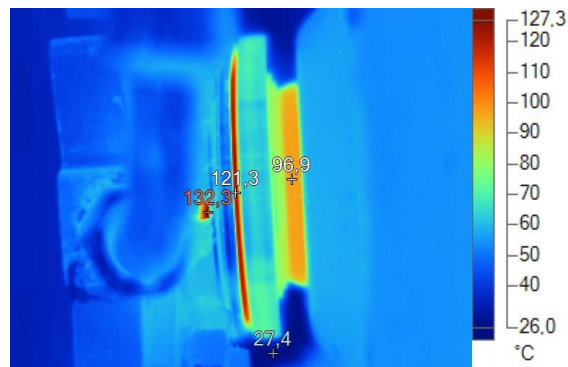
Jako pohon strojní soustavy slouží elektromotor, který byl vyroben firmou BASTRO o výkonu 30 kW a otáčkách 1465 ot/min. Soustava byla měřena 20.2. 2018 a 7.5. 2018.

Tabulka 9 Porovnání naměřených hodnot strojní soustavy 6A [autor]

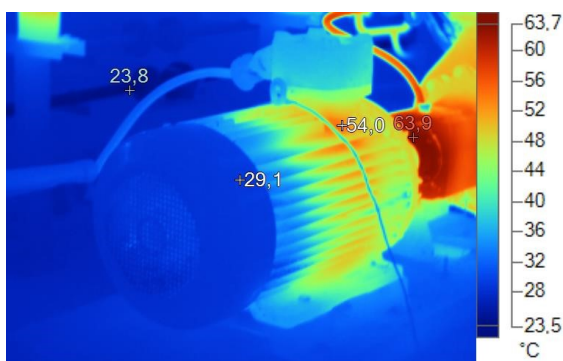
Datum			Měřící místa			
			L1	L2	L3	L4
20.2.	Rychlost vibrací [mm/s ⁻¹]	V	2,63	2,48	1,2	1,48
		H	3,57	3,13	6,55	3,44
		A	2,13	3,61	1,34	2,41
	Zrychlení vibrací [g]	V	0,618	0,781	0,564	0,608
		H	0,547	0,845	0,575	0,545
		A	0,533	1,05	0,796	0,925
7.5.	Rychlost vibrací [mm/s ⁻¹]	V	2,32	2,12	1,38	1,3
		H	3,34	3,06	5,06	2,56
		A	1,02	2,61	2,01	2,16
	Zrychlení vibrací [g]	V	0,591	0,378	0,404	0,493
		H	0,475	0,344	0,339	0,522
		A	0,396	0,686	0,593	0,803



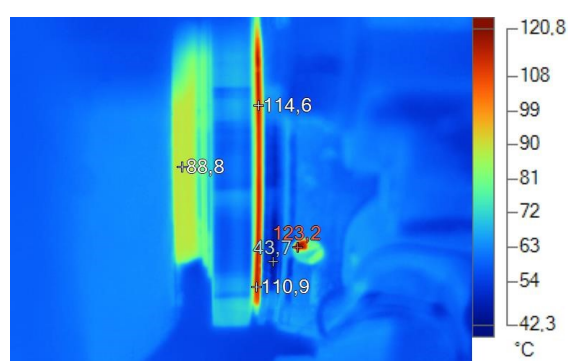
Obrázek 76 Termografický snímek elektromotoru 6A (20.2.) [autor]



Obrázek 75 Termografický snímek ucpávky čerpadla 6A (20.2.) [autor]



Obrázek 74 Termografický snímek elektromotoru 6A (7.5.) [autor]



Obrázek 73 Termografický snímek ucpávky čerpadla 6A (7.5.) [autor]

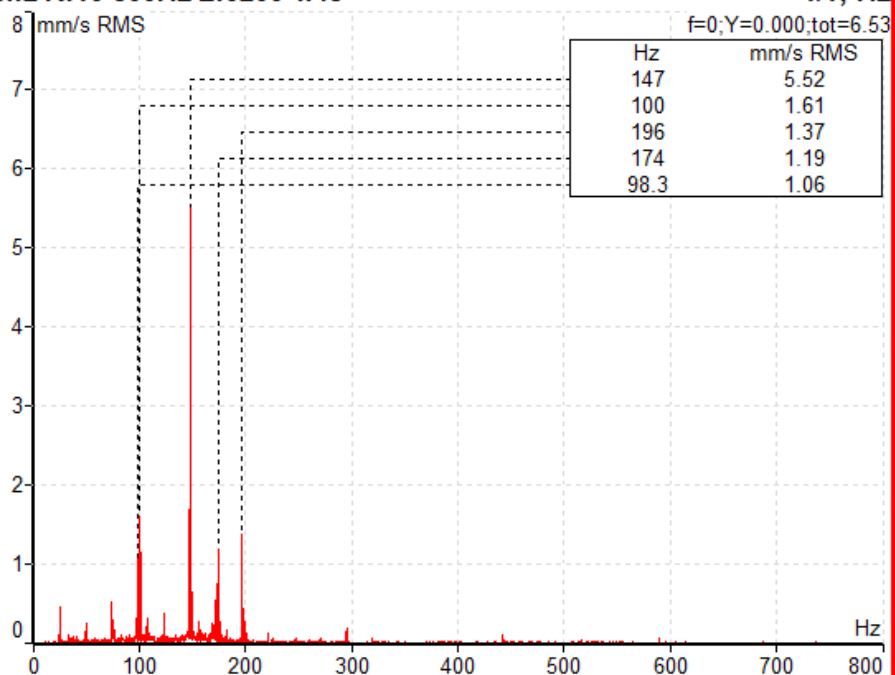
Strojní soustava 6A byla měřena na čtyřech měřicích místech (L1, L2, L3, L4). Všechny hodnoty kromě jedné u každého měření se nacházejí v pásnu A a pásnu B, ale naměřené hodnoty v místě L3 v horizontální směru vykazují hodnoty efektivní rychlost vibrací cca 6 mm/s což už spadá do pásma C. Následovně budou poskytnuta dvě spektra poukazující na šesti násobek frekvence. Vše zprvu ukazovalo při prvním měření na problémy se samotným čerpadlem (5 nebo 7 lopatek), ale následné druhé měření poukázalo na poškození spojky (spojka má ježka s šesti lamelami). Lze tak tvrdit z důvodů pohledu na termografické snímky elektromotoru, kdy na termo snímku ze dne 7.5. lze vidět zvětšené teploty v místě L3, tedy v místě spojky. Problému moc nepomáhá ani konstrukce která drží spojku. Nekvalitní podpěra způsobuje vůli a tím pádem dochází k úhlové nesouososti.

KOKSOVNAABSORBCE VS 20,2,2018 6A L3 - AC1 (-5.00; 5.00)g

00:00:15 / 00:00:30

10 spec ch:2 R:10-800Hz L:3200 T:4s

1/1;-Hz



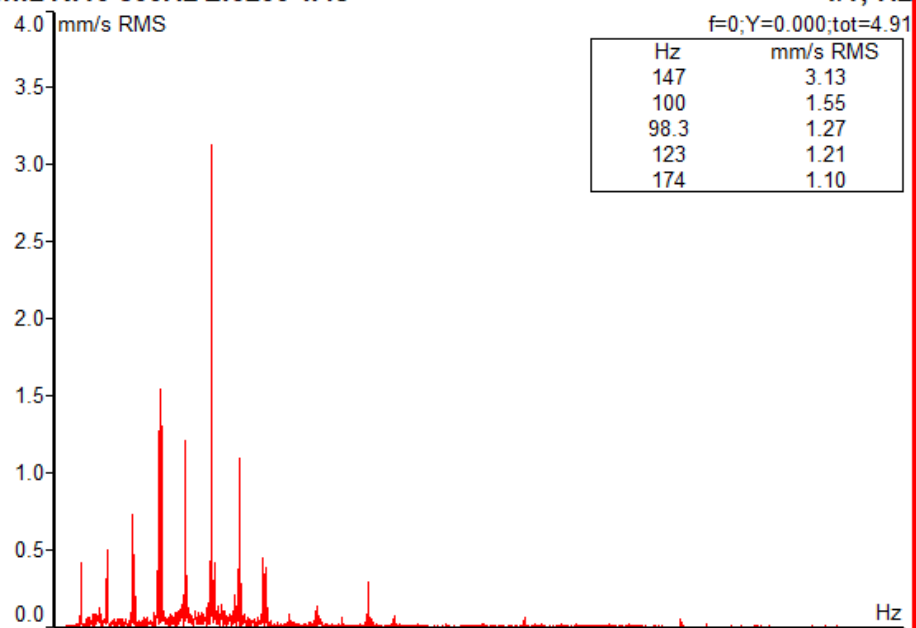
Obrázek 77 Spektrum rychlosti vibrací v horizontálním směru v místě L3
(20.2.) [autor]

Velká strojovna 6A L3 - AC1 (-5.00; 5.00)g

00:00:12 / 00:00:30

9 spec ch:2 R:10-800Hz L:3200 T:4s

1/1;-Hz



Obrázek 78 Spektrum rychlosti vibrací v horizontálním směru v místě L3 (7.5.)
[autor]



Obrázek 79 Nevhodně řešení ustavení spojky pomocí plechové konzole, pohled na spojku soustavy 6A [autor]

Proto na základě těchto poznatků lze stanovit technický stav měřené strojní soustavy za **ZHORŠENÝ**.

7.3.2.1. Spojka v čerpadlových soustavách



Obrázek 80 Přední náhled na spojku [autor]



Obrázek 82 Ukázka spojky na odstaveném a rozebraném čerpadle [autor]



Obrázek 81 Pohle na spojku čerpadla (pevný kus) [autor]

7.3.3. Strojní soustava 7A

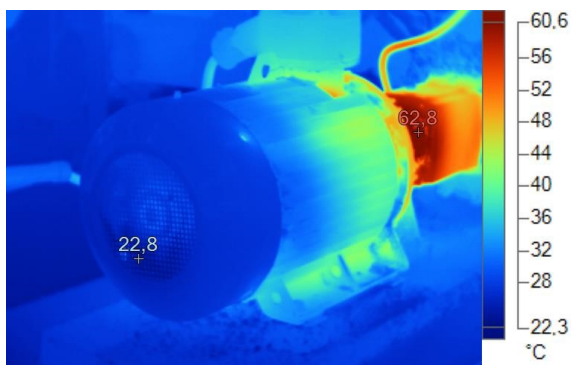


Obrázek 83 Strojní soustava 7A [autor]

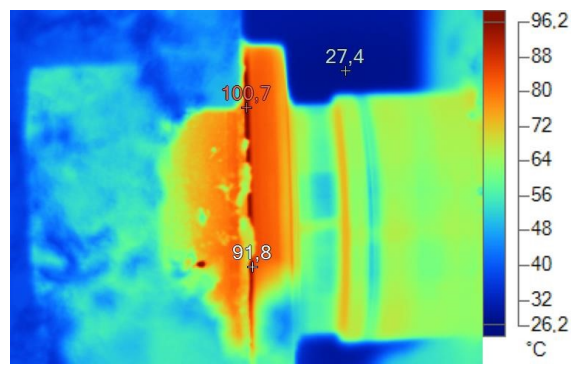
Jako pohon strojní soustavy slouží elektromotor, který byl vyroben firmou ABB o výkonu 55 kW a otáčkách 1475 ot/min. Soustava byla měřena 20.2. 2018 a 7.5. 2018.

Tabulka 10 Porovnání naměřených hodnot soustavy 7A [autor]

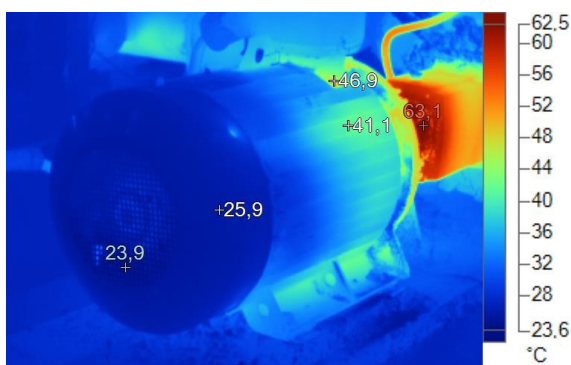
Datum			Měřicí místa			
			L1	L2	L3	L4
20.2.	Rychlost vibrací [mm/s ⁻¹]	V	0,83	0,784	0,758	2,25
		H	0,444	0,455	1,68	0,87
		A	0,311	0,655	1,28	0,805
	Zrychlení vibrací [g]	V	0,335	0,253	0,36	0,252
		H	0,163	0,197	0,364	0,372
		A	0,146	0,216	0,383	0,401
7.5.	Rychlost vibrací [mm/s ⁻¹]	V	0,636	0,845	0,749	2,29
		H	0,569	0,585	1,93	1,3
		A	0,321	0,623	1,16	1,08
	Zrychlení vibrací [g]	V	0,172	0,245	0,224	0,187
		H	0,185	0,261	0,255	0,229
		A	0,134	0,246	0,257	0,311



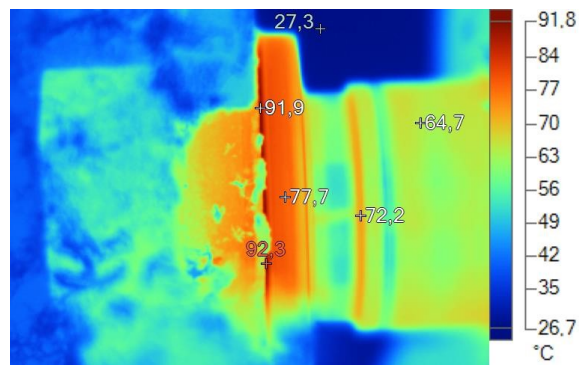
Obrázek 87 Termografický snímek elektromotoru 7A (20.2.) [autor]



Obrázek 86 Termografický snímek ucpávky čerpadla 7A (20.2.) [autor]



Obrázek 85 Termografický snímek elektromotoru 7A (7.5.) [autor]



Obrázek 84 Termografický snímek ucpávky čerpadla 7A (7.5.) [autor]

Strojní soustava 7A byla měřena na všech měřicích místech (I1, L2, L3, L4). Všechny měřené hodnoty rychlostí a zrychlení vibrací se nacházejí v pásnu hodnot A. Termografické snímky nevykazují žádné výkyvy teplot, které by mohly způsobovat poruchy stroje. A ani při obhlídce čerpadla nebyly nalezeny žádné známky poruch nebo vad. Proto lze stanovit technický stav za **VYHOVUJÍCÍ**.

7.3.4. Strojní soustava 8B



Obrázek 88 Strojní soustava 8B [autor]

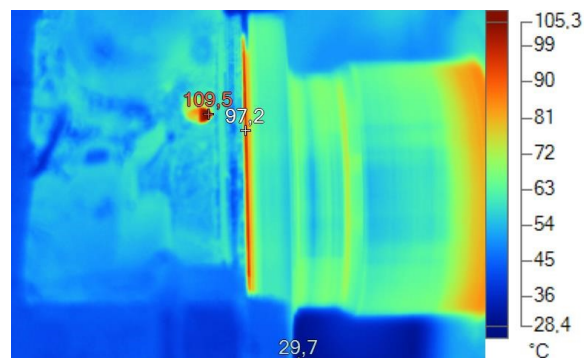
Jako pohon strojní soustavy slouží elektromotor, který byl vyroben firmou MEZ Frenštát o výkonu 55 kW a otáčkách 1475 ot/min. Soustava byla měřena 20.2. 2018 a 7.5. 2018.

Tabulka 11 Porovnání naměřených hodnot strojní soustavy 8B [autor]

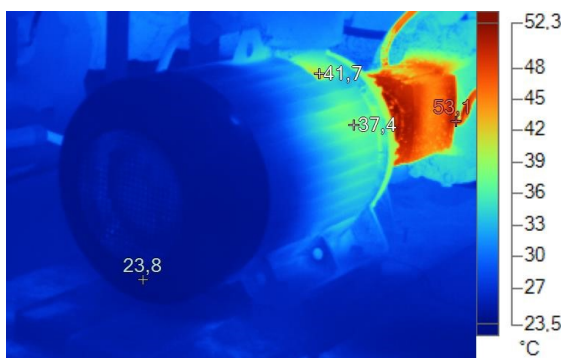
Datum			Měřicí místa			
			L1	L2	L3	L4
20.2.	Rychlost vibrací [mm/s ⁻¹]	V	1,8	1,22	0,985	1,93
		H	1,64	1,5	2,08	1,07
		A	0,735	1,13	1,21	1,46
	Zrychlení vibrací [g]	V	0,408	0,207	0,308	0,362
		H	0,229	0,162	0,353	0,378
		A	0,132	0,611	0,438	0,439
7.5.	Rychlost vibrací [mm/s ⁻¹]	V	1,49	1,19	0,955	2,05
		H	1,46	1,5	2	0,876
		A	1,17	1,8	0,941	1,65
	Zrychlení vibrací [g]	V	0,473	0,177	0,25	0,306
		H	0,186	0,173	0,294	0,312
		A	0,154	0,409	0,347	0,364



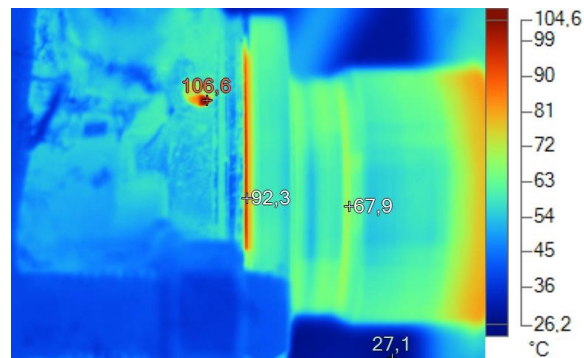
Obrázek 92 Termografický snímek elektromotoru 8B (20.2.) [autor]



Obrázek 91 Termografický snímek ucpávky čerpadla 8B (20.2.) [autor]



Obrázek 90 Termografický snímek elektromotoru 8B (7.5.) [autor]



Obrázek 89 Termografický snímek ucpávky čerpadla 8B (7.5.) [autor]

Soustava 8B byla měřena na čtyřech měřicích místech (L1, L2, L3, L4). Všechny měřené hodnoty rychlostí a zrychlení vibrací se nacházejí v pásmu hodnot A. Termografické snímky nevykazují žádné výkyvy teplot, které by mohly způsobovat poruchy stroje. A ani při obhlídce čerpadla nebyly nalezeny žádné známky poruch nebo vad. Proto lze stanovit technický stav za **VYHOVUJÍCÍ**.

7.4. Benzolová stanice (strojovna)

Když je potřeba absorbovat benzol z koksárenského plynu. Tak je k této absorpci potřeba prací olej ohřátý v plynových pecích. Jedná se nejvíce vytížený závod. Vliv velkých nečistot a vysoká žíravost benzolu. Je nutné vybavení kvalitních nerezových konstrukcí pro potrubní řady sloužící k přepravě benzolu a horkých pracích olejů. Čerpadla jsou zde většinou rozdělené do trojic a čtveřic (častá střídavost čerpadel v provozu).



*Obrázek 94 Fotografie benzolové stanice
[autor]*



*Obrázek 93 Pece sloužící pro ohřev
pracího oleje [autor]*

7.4.1. Strojní soustava 7D

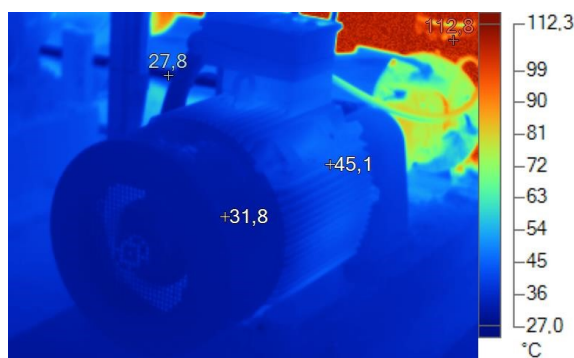


Obrázek 95 Strojní soustava 7D [autor]

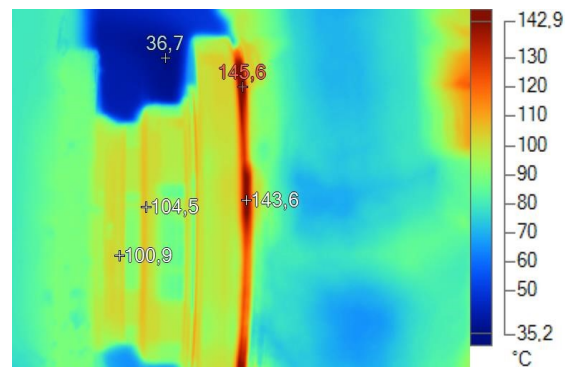
Jako pohon strojní soustavy slouží elektromotor, který byl vyroben firmou SIEMENS o výkonu 45 kW a otáčkách 2950 ot/min. Soustava byla měřena 7.5. 2018.

Tabulka 12 Tabulka 12 Naměřené hodnoty 7D [autor]

Datum			Měřící místa			
			L1	L2	L3	L4
7.5.	Rychlost vibrací [mm/s ⁻¹]	V	1,54	1,38	0,983	0,821
		H	1,12	0,711	0,866	0,81
		A	0,483	1,3	0,888	0,749
	Zrychlení vibrací [g]	V	0,255	0,21	0,342	0,207
		H	0,275	0,173	0,284	0,302
		A	0,248	0,55	0,297	0,439



Obrázek 97 Termografický snímek elektromotoru 7D (7.5.) [autor]



Obrázek 96 Termografický snímek ucpávky čerpadla 7D (7.5.) [autor]

Soustava 7D byla měřena na čtyřech měřících místech (L1, L2, L3, L4). Všechny měřené hodnoty rychlostí a zrychlení vibrací se nacházejí v pásmu hodnot A. Termografické snímky nevykazují žádné výkyvy teplot, které by mohly způsobovat poruchy stroje. A ani při obhlídce čerpadla nebyly nalezeny žádné známky poruch nebo vad. Proto lze stanovit technický stav za **VYHOVUJÍCÍ**.

7.4.2. Strojní soustava 7B

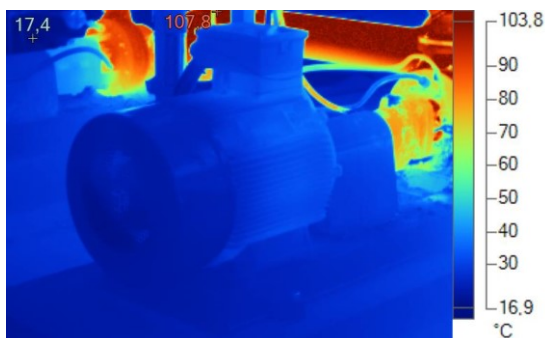


Obrázek 98 Strojní soustava 7B [autor]

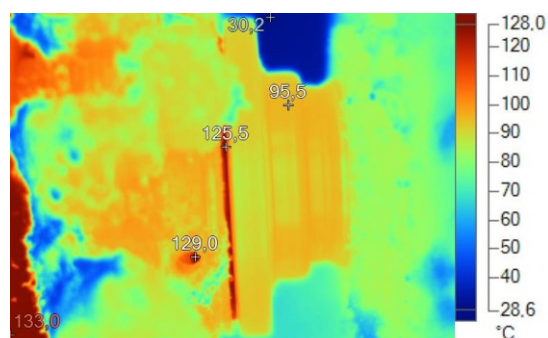
Jako pohon strojní soustavy slouží elektromotor, který byl vyroben firmou SIEMENS o výkonu 45 kW a otáčkách 2955 ot/min. Soustava byla měřena 20.2. 2018.

Tabulka 13 Naměřené hodnoty 7B [autor]

Datum			Měřicí místa			
			L1	L2	L3	L4
20.2.	Rychlost vibrací [mm/s ⁻¹]	V	1,04	4,14	2,02	1,28
		H	1,34	1,42	1,72	1,3
		A	0,732	1,64	0,74	1,06
	Zrychlení vibrací [g]	V	0,239	0,188	0,266	0,23
		H	0,299	0,303	0,339	0,208
		A	0,395	0,625	0,38	0,512



Obrázek 100 Termografický snímek elektromotoru 7B (20.2.) [autor]



Obrázek 99 Termografický snímek ucpávky čerpadla 7B (20.2.) [autor]

Soustava 7B byla měřena na čtyřech měřicích místech (L1, L2, L3, L4). Všechny měřené hodnoty rychlostí a zrychlení vibrací se nacházejí v pásmu hodnot A. Termografické snímky nevykazují žádné výkyvy teplot, které by mohly způsobovat poruchy stroje. A ani při obhlídce čerpadla nebyly nalezeny žádné známky poruch nebo vad. Proto lze stanovit technický stav za **VYHOVUJÍCÍ**.

7.4.3. Strojní soustava 9B



Obrázek 101 Strojní soustava 9B [autor]

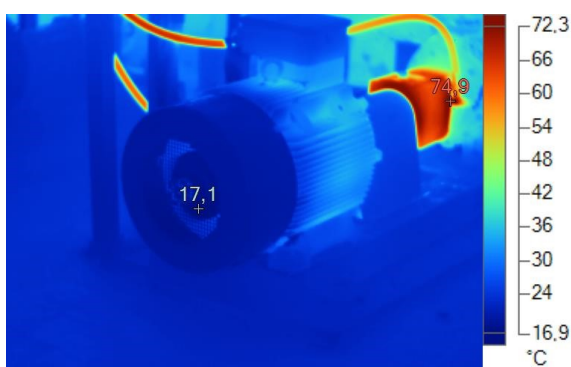
Jako pohon strojní soustavy slouží elektromotor, který byl vyroben firmou SIEMENS o výkonu 45 kW a otáčkách 2955 ot/min. Soustava byla měřena 20.2. a 7.5. 2018.

Tabulka 14 Porovnání naměřených hodnot strojní soustavy 9B [autor]

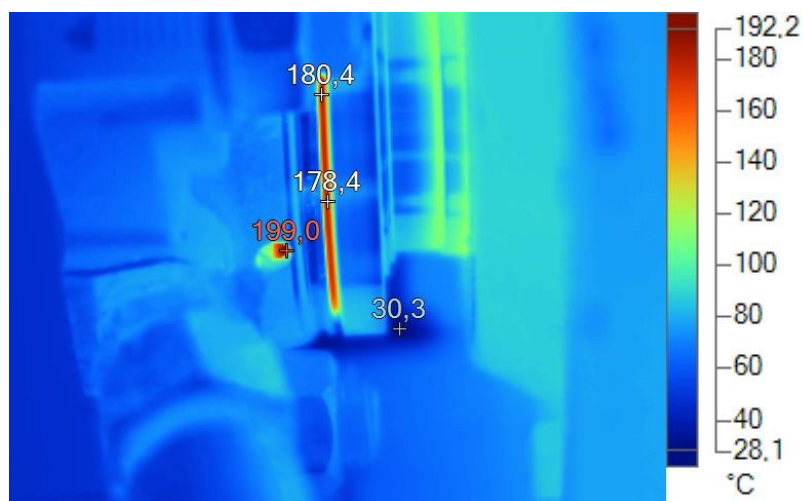
Datum			Měřicí místa			
			L1	L2	L3	L4
20.2.	Rychlost vibrací [mm/s ⁻¹]	V	0,891	0,918	0,755	0,691
		H	3,41	3,34	1,27	0,959
		A	0,49	0,542	1,01	0,696
	Zrychlení vibrací [g]	V	0,291	0,185	0,739	0,508
		H	0,273	0,205	0,676	0,565
		A	0,265	0,284	0,841	0,733
7.5.	Rychlost vibrací [mm/s ⁻¹]	V	0,856	0,789	0,704	0,706
		H	3,2	3,06	1	0,814
		A	0,269	0,352	0,867	0,718
	Zrychlení vibrací [g]	V	0,247	0,169	0,886	0,444
		H	0,336	0,2	0,704	0,623
		A	0,281	0,324	0,795	0,746

Měření na strojní soustavě bylo prováděno v místech měření (L1, L2, L3, L4). Hodnoty efektivní rychlosti efektivního zrychlení vibrací se pohybují v rozmezí hodnotících pásem A a B. **Možný problém byl zjištěn již během měření pochůzkou, a to hlavně v místech L1 a L2 v horizontálním směru (u obou měření), kde se podle frekvenčního spektra usoudilo, že se jedná problém elektrikářské údržby, nesymetrie elektrického pole.**

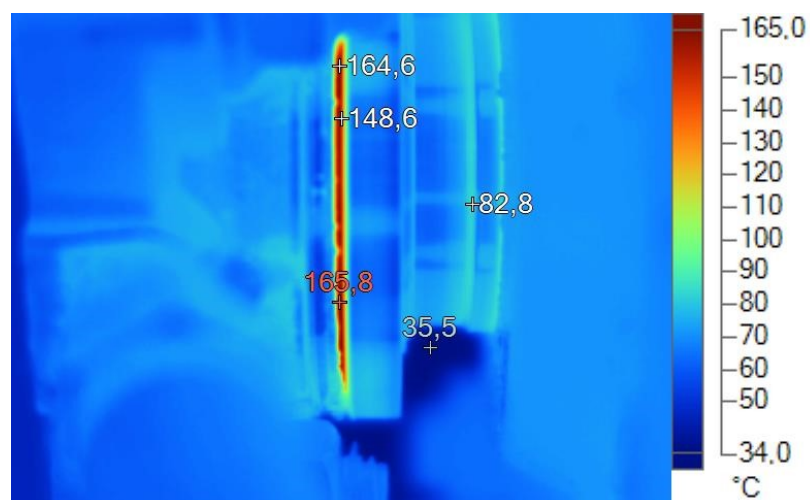
Další závadou této soustavy byla shledána pomocí termografického měření, a to v místě ucpávky čerpadla 9B, kde byla naměřená vysoká (kritická) teplota (cca 180 °C). Příčina vzniku tohoto zahřívání souvisí i s tím, že už jenom při vizuálním kontaktu s dávkovačem maziva, bylo vidět nekvalitní mazací olej (černá barva oleje). Doporučením by bylo vyměnit znehodnocené mazivo a kontrolu nebo výměnu čerpadlové ucpávky. Ale dle naměřených hodnot rychlostí a zrychlení nastává tvrzení o technickém stavu, který je **VYHOVUJÍCÍ**.



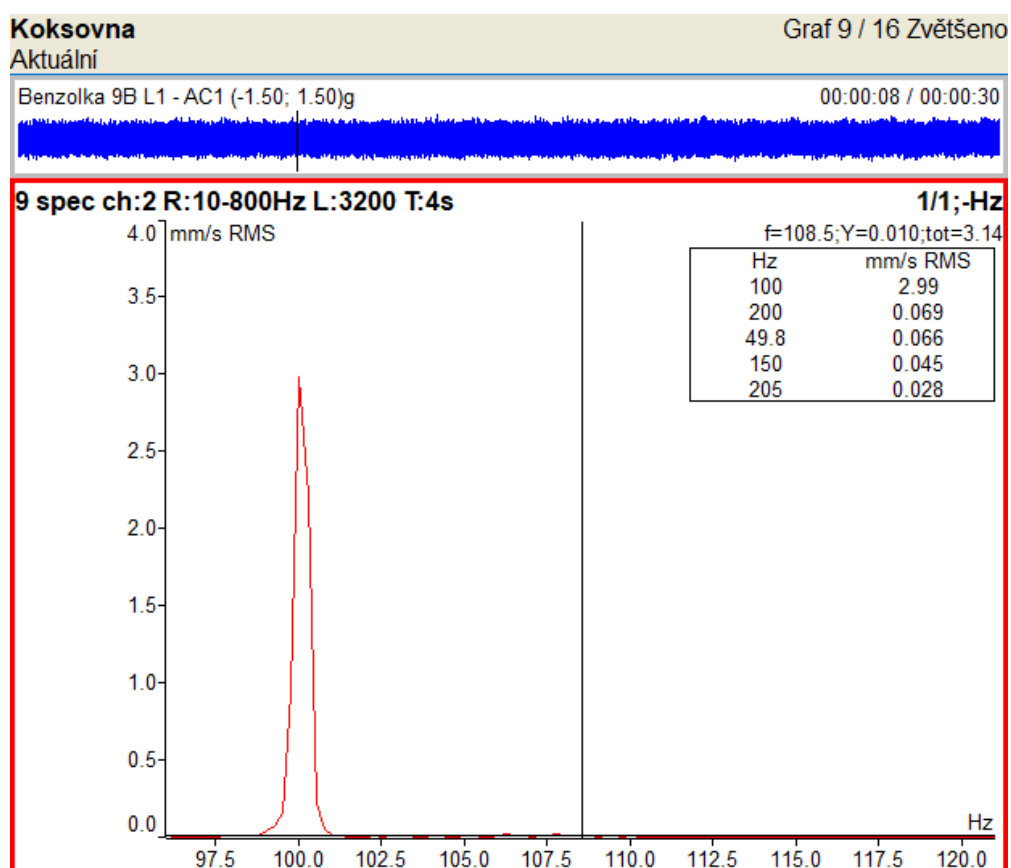
Obrázek 103 Termografický snímek elektromotoru 9B (20.2.) [autor]



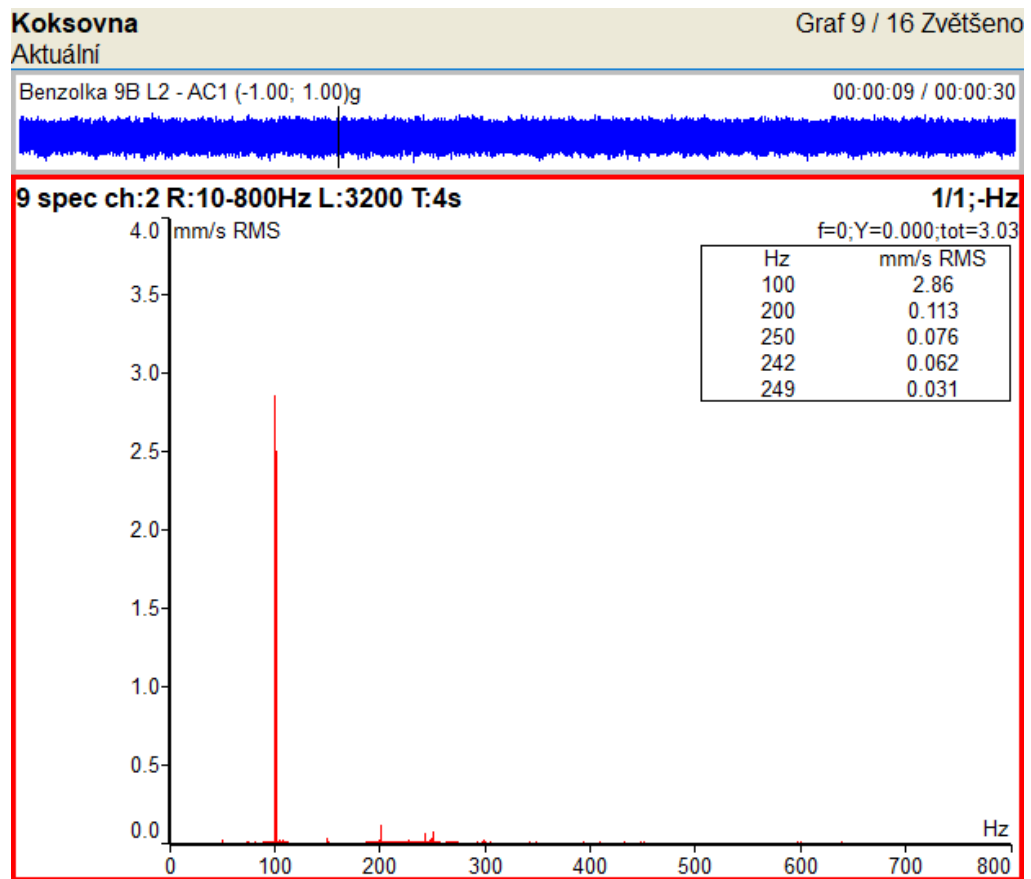
Obrázek 102 Termografický snímek ucpávky čerpadla 9B (20.2.) [autor]



Obrázek 105 Termografický snímek ucpávky čerpadla 9B (7.5.) [autor]



Obrázek 104 Přibližné frekvenční spektrum rychlosti v místě L1 v horizontálním směru 9B (7.5.) [autor]



Obrázek 106 Frekvenční spektrum rychlosti v místě L2 v horizontálním směru 9B (7.5.)
[autor]

7.4.4. Strojní soustava 6B

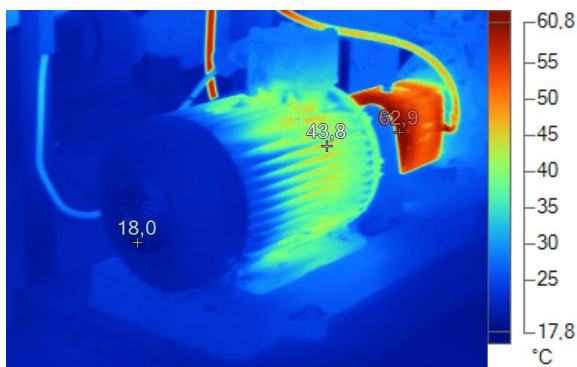


Obrázek 107 Soustava čerpadla 6B [autor]

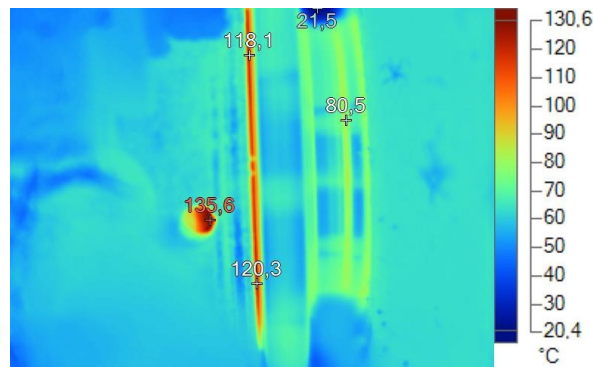
Jako pohon strojní soustavy slouží elektromotor, který byl vyroben firmou MEZ Frenštát o výkonu **35 kW** a otáčkách **2950 ot/min.** Soustava byla měřena 20.2. a 7.5. 2018.

Tabulka 15 Porovnání naměřených hodnot strojní soustavy 6B [autor]

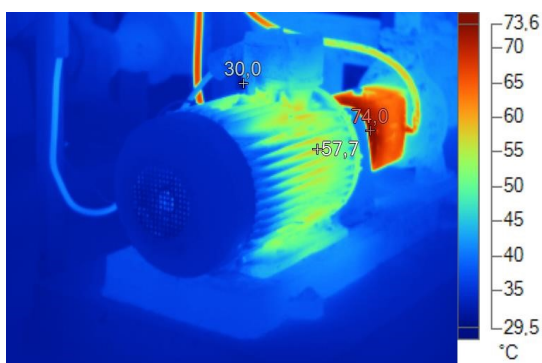
Datum			Měřicí místa			
			L1	L2	L3	L4
20.2.	Rychlost vibrací [mm/s ⁻¹]	V	1,18	1,51	1,09	1,08
		H	1,73	1,56	0,837	0,578
		A	0,618	1,04	1,03	0,916
	Zrychlení vibrací [g]	V	0,462	0,609	1,02	0,817
		H	0,423	0,668	0,955	0,994
		A	0,233	1,01	0,591	0,791
7.5.	Rychlost vibrací [mm/s ⁻¹]	V	1,18	1,81	1,28	1,18
		H	1,62	1,7	0,824	0,568
		A	0,376	1,4	1,66	1,45
	Zrychlení vibrací [g]	V	0,966	0,934	0,425	0,441
		H	0,543	0,636	0,426	0,46
		A	0,296	1,17	0,43	0,467



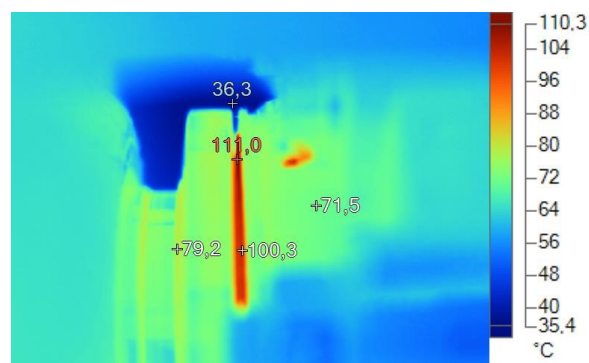
Obrázek 111 Termografický snímek elektromotoru 6B (20.2.) [autor]



Obrázek 109 Termografický snímek ucpávky čerpadla 6B (20.2.) [autor]



Obrázek 110 Termografický snímek elektromotoru 6B (7.5.) [autor]



Obrázek 108 Termografický snímek ucpávky čerpadla 6B (7.5.) [autor]

Strojní soustava 7A byla měřena na všech měřicích místech (I1, L2, L3, L4). Všechny měřené hodnoty rychlostí a zrychlení vibrací se nacházejí v pásmu hodnot A. Termografické snímky nevykazují žádné výkyvy teplot, které by mohly způsobovat poruchy stroje. A ani při obhlídce čerpadla nebyly nalezeny žádné známky poruch nebo vad. Proto lze stanovit technický stav za **VYHOVUJÍCÍ**.

7.5. Stanice přečerpávání čpavkové vody

7.5.1. Strojní soustava 09b



Obrázek 112 Strojní soustava 09b [autor]

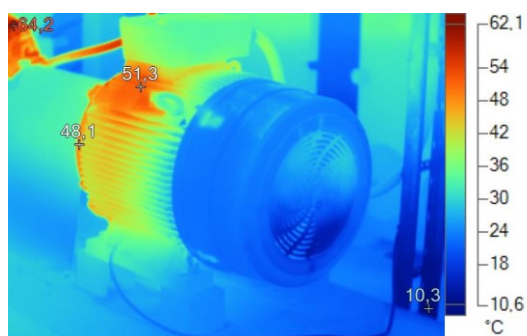
Jako pohon strojní soustavy slouží elektromotor, který byl vyroben firmou SIEMENS o výkonu **45 kW** a **otáčkách 1475 ot/min**. Soustava byla měřena 20.2. a 7.5. 2018. Za čerpadlem je v pozadí umístěn takzvaný „zahlcovací kotlík“, jenž slouží k lepšímu vyvážení tlaku v čerpadle (viz. Obrázek 77).



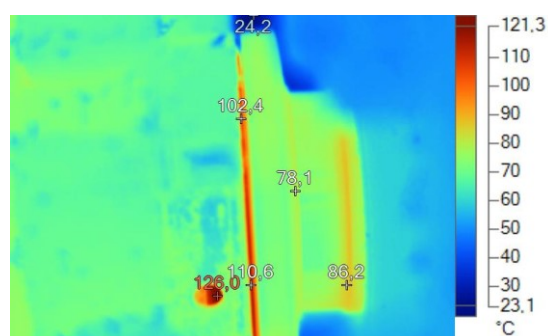
Obrázek 113 Zählcovací kotlík [autor]

Tabulka 16 Porovnání naměřených hodnot strojní soustavy 09b [autor]

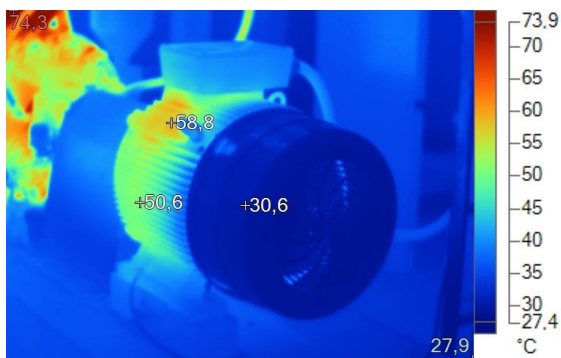
Datum			Měřící místa			
			L1	L2	L3	L4
20.2.	Rychlost vibrací [mm/s ⁻¹]	V	1,75	1,84	2,37	2,16
		H	1,38	1,52	2,86	1,07
		A	0,84	1,69	4,47	3,46
	Zrychlení vibrací [g]	V	0,214	0,238	0,605	0,728
		H	0,229	0,211	0,874	0,847
		A	0,411	0,211	0,419	0,954
7.5.	Rychlost vibrací [mm/s ⁻¹]	V	1,56	2,04	2,58	2,23
		H	1,67	2,02	3,23	1,5
		A	1,74	2,14	3,69	2,14
	Zrychlení vibrací [g]	V	1,16	1,25	0,53	0,656
		H	0,994	0,892	0,758	0,857
		A	0,944	1,25	1,11	1,09



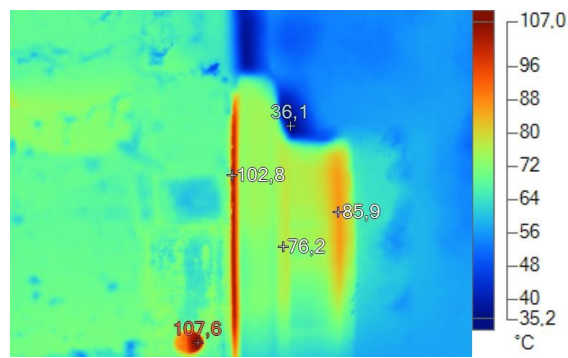
Obrázek 115 Termografický snímek elektromotoru 09b (20.2.) [autor]



Obrázek 114 Termografický snímek ucpávky čerpadla 09b (20.2.) [autor]

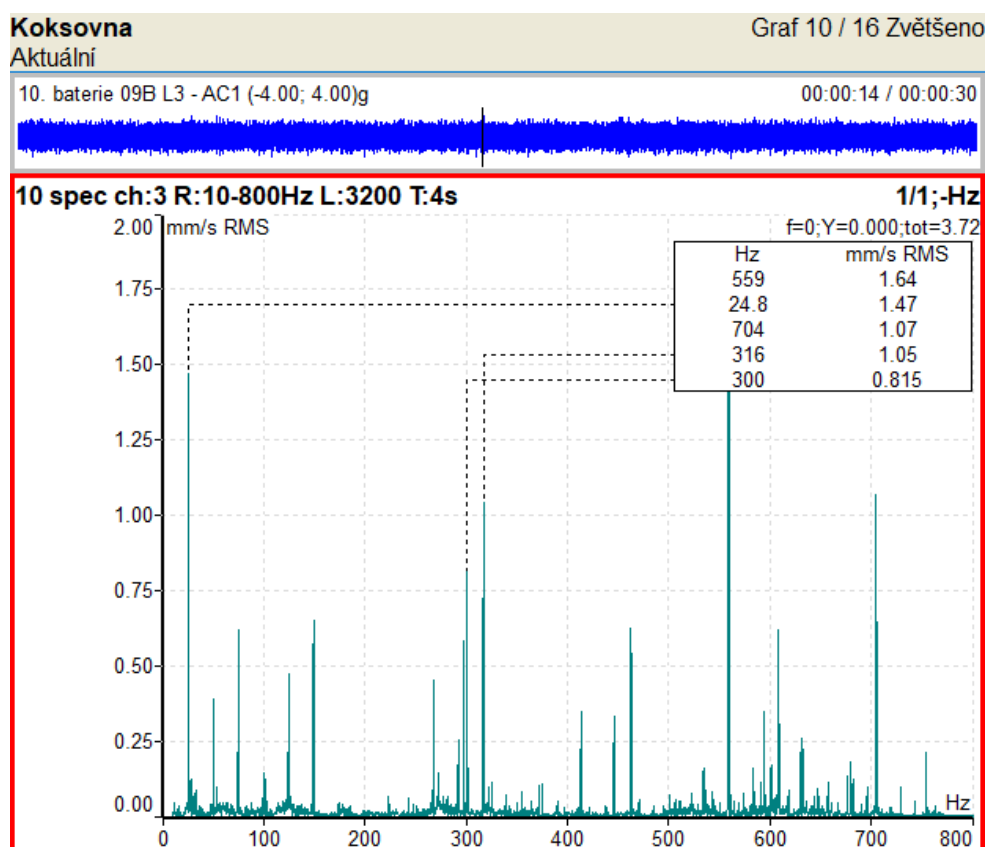


Obrázek 117 Termografický snímek elektromotoru 09b (7.5.) [autor]



Obrázek 116 Termografický snímek ucpávky čerpadla 09b (7.5.) [autor]

Strojní soustava 09b byla měřena ve všech měřicích místech (L1, L2, L3, L4). Většina naměřených hodnot rychlosti a zrychlení vibrací spadá pod pásmo hodnot A a B, **Ale při pohledu na hodnoty v místě L3 při obou měření ve všech třech směrech je patrné přibližování se k hraniční hodnotě pásma C.** Díky pochůzkovému měření bylo na místě stanoveno, že se jedná o problém s nábojem čerpadla (velké zatížení ložisek v axiálním směru. **Ale v tomto případě se jedná o náběh těchto hodnot. Pravděpodobně časem dojde ke stoupnutí hodnot vibrací.**



Obrázek 118 Spektrum rychlosti vibrací v místě L3 v axiálním směru 09b (7.5.) [autor]

Po zpracování termografických snímků nebyl zjištěn žádné teplotní údaje, které by poukazovaly na technické problémy. Ani na místě po vizuální ohledání místa soustavy 09b nebylo shledáno žádné poškození, či vady. Proto na základě údajů rychlosti a zrychlení vibrací, lze konstatovat, že technický stav strojní soustavy 09b je **VYHOVUJÍCÍ**

7.5.2. Strojní soustava 10b

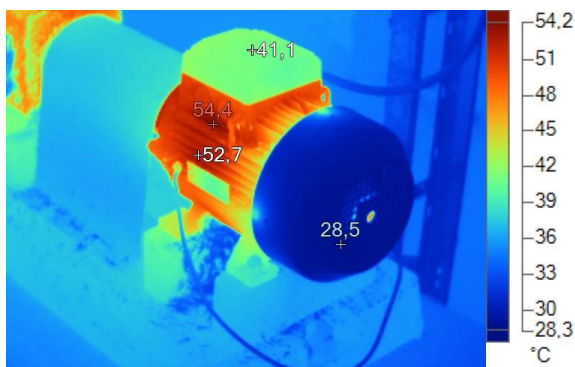


Obrázek 119 Strojní soustava 10b [autor]

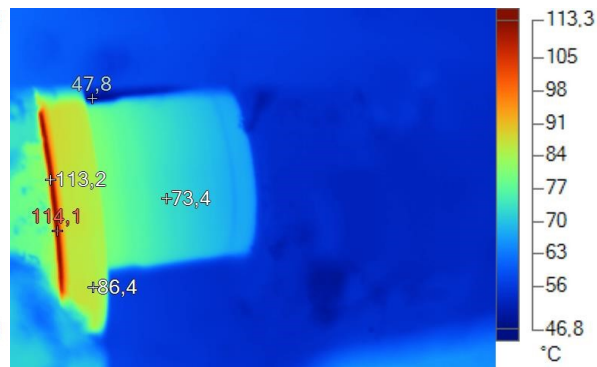
Jako pohon strojní soustavy slouží elektromotor, který byl vyroben firmou SIEMENS o výkonu 2,2 kW a otáčkách 1420 ot/min. Soustava byla měřena 7.5. 2018.

Tabulka 17 Naměřené hodnoty 10b [autor]

Datum			Měřící místa			
			L1	L2	L3	L4
7.5.	Rychlost vibrací [mm/s ⁻¹]	V	-	-	0,788	0,831
		H	-	-	0,714	0,728
		A	-	-	0,636	0,603
	Zrychlení vibrací [g]	V	-	-	0,128	0,112
		H	-	-	0,153	0,109
		A	-	-	0,118	0,184



Obrázek 121 Termografický snímek elektromotoru 10b (7.5.) [autor]

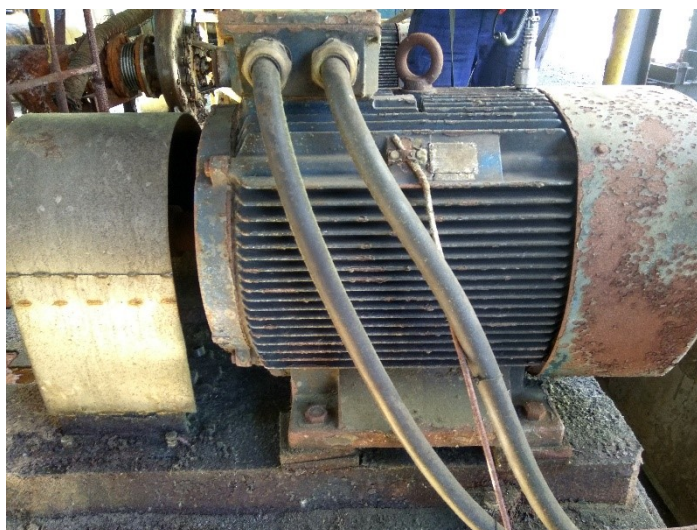


Obrázek 120 Termografický snímek ucpávky čerpadla 10b (7.5.) [autor]

Soustava 10b byla měřena na dvou měřících místech (L3, L4), důvodem je nemagnetická slitina elektromotoru. Všechny měřené hodnoty rychlostí a zrychlení vibrací se nacházejí v pásmu hodnot A. Termografické snímky nevykazují žádné výkyvy teplot, které by mohly způsobovat poruchy stroje. A ani při obhlídce čerpadla nebyly nalezeny žádné známky poruch nebo vad. Proto lze stanovit technický stav za **VYHOVUJÍCÍ**.

7.6. Čerpací stanice provozního roztoku STRETFORD

7.6.1. Strojní soustava 101B



Obrázek 122 Elektromotor a spojka soustavy 101b [autor]

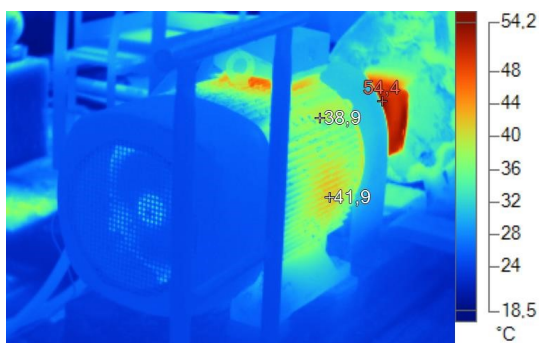


Obrázek 123 Čerpadlo 101B [autor]

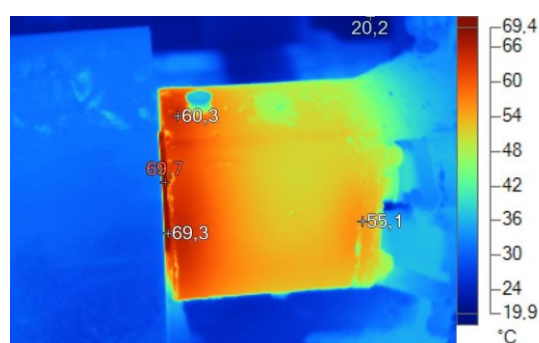
Jako pohon strojní soustavy slouží elektromotor o výkonu 110 kW a otáčkách 1450 ot/min. Soustava byla měřena 7.5. 2018.

Tabulka 18 Naměřené hodnoty soustavy 101B [autor]

Datum			Měřící místa			
			L1	L2	L3	L4
7.5.	Rychlost vibrací [mm/s ⁻¹]	V	1,43	3,97	15	6,5
		H	8,04	7,87	17,6	9,57
		A	3,22	7,77	14	11,6
	Zrychlení vibrací [g]	V	0,745	1,61	13,3	7,07
		H	0,738	1,45	16,2	8,45
		A	0,759	1,81	18,8	10,8

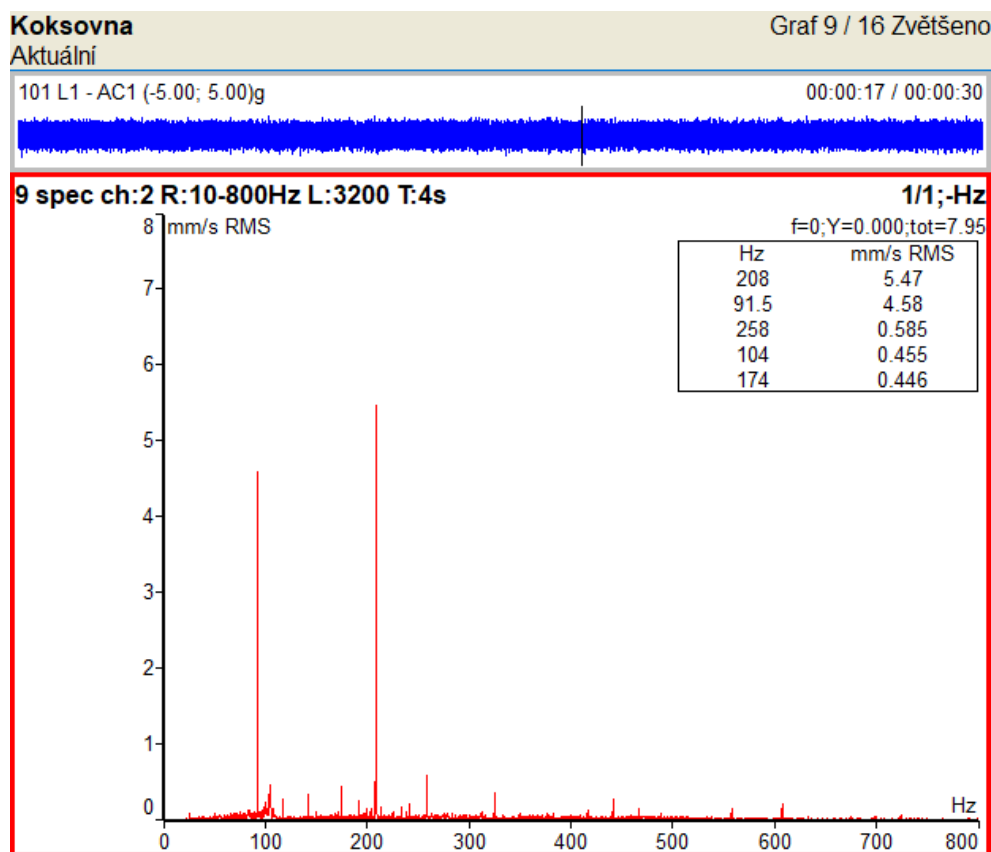


Obrázek 125 Termografický snímek elektromotoru 101B (7.5.) [autor]

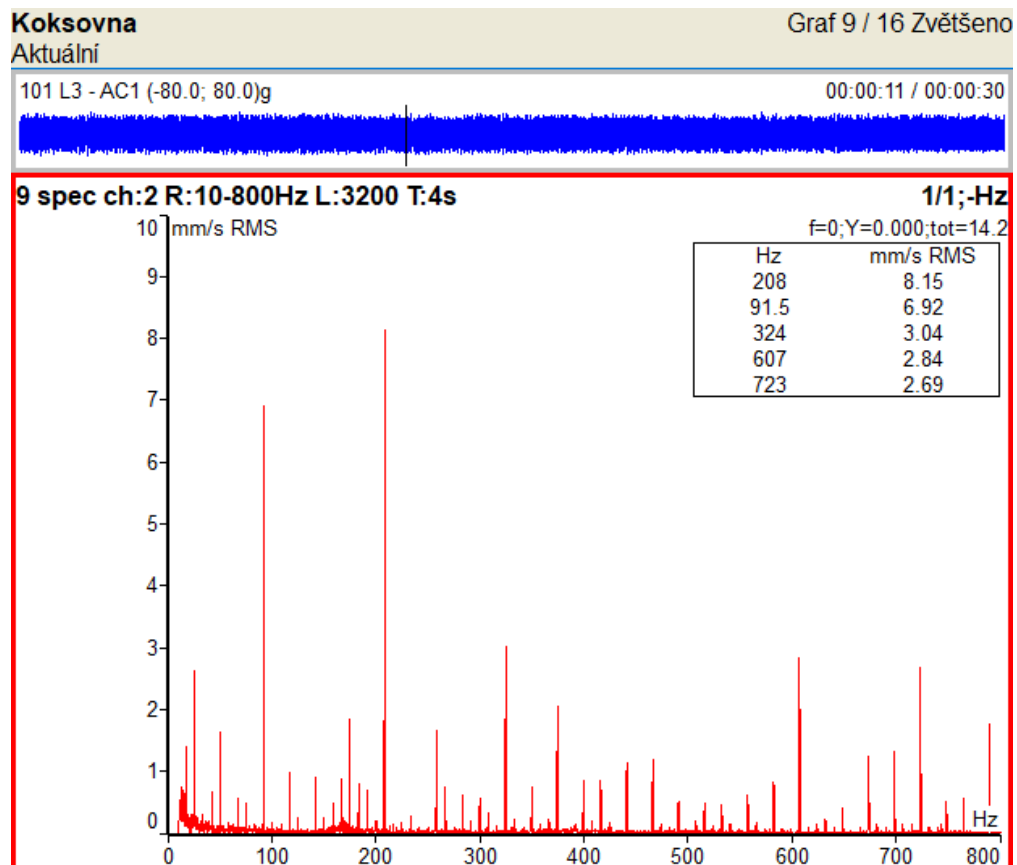


Obrázek 124 Termografický snímek spojky 101B (7.5.) [autor]

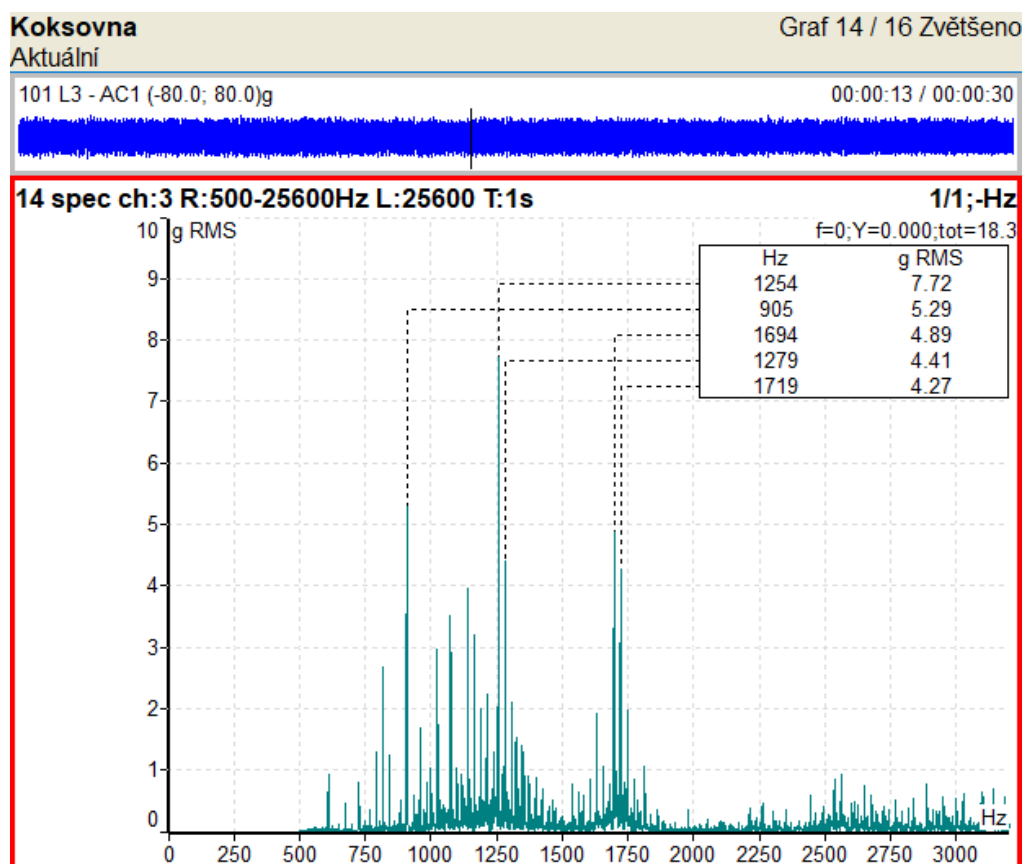
Strojní soustava byla měřena na všech měřicích místech (L1, L2, L3, L4). Jak již je jasné z tabulky naměřených hodnot, tato soustava 101b je shledána v dezolátním stavu. Většina hodnot přesahuje několikanásobně hranici hodnotícího pásna D. Tyto hodnoty vykazují, že stroj bude v nejbližší době postihnout havárii. Čerpadlo porušuje i bezpečnost okolí. V místě L1 v horizontální směru se jedná o čtyř násobek a osmi násobek frekvence.



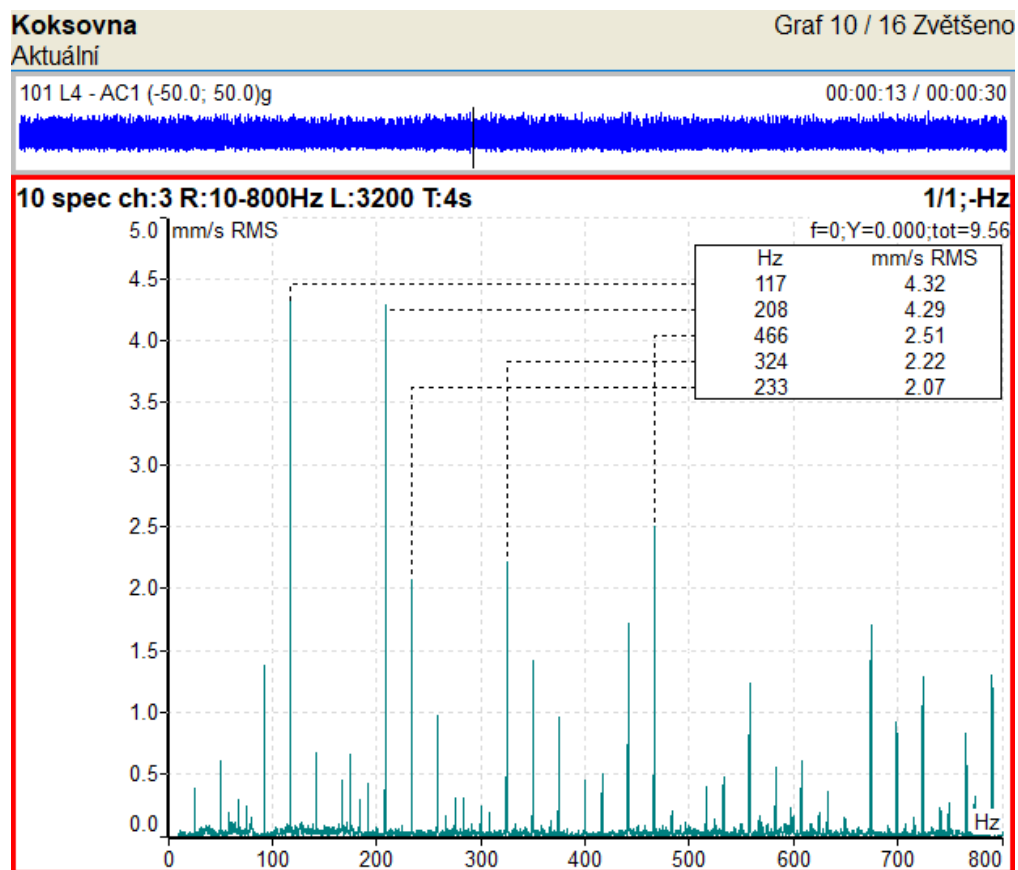
Obrázek 126 Spektrum rychlostí vibrací v místě L1 v horizontálním směru 101B [autor]



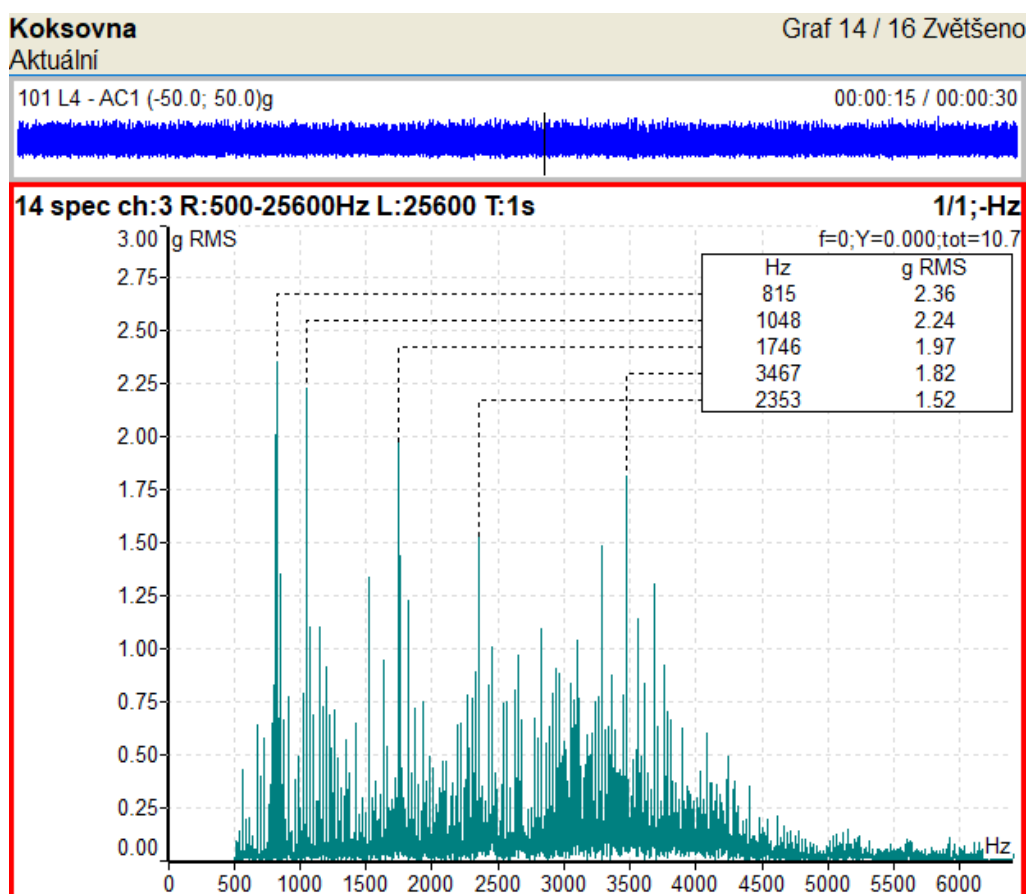
Obrázek 128 Spektrum rychlosti vibrací v místě L3 v horizontálním směru 101B [autor]



Obrázek 127 Spektrum zrychlení vibrací v místě L3 v axiálním směru 101B [autor]



Obrázek 130 Spektrum rychlosti vibrací v místě L3 v axiálním směru 101B [autor]

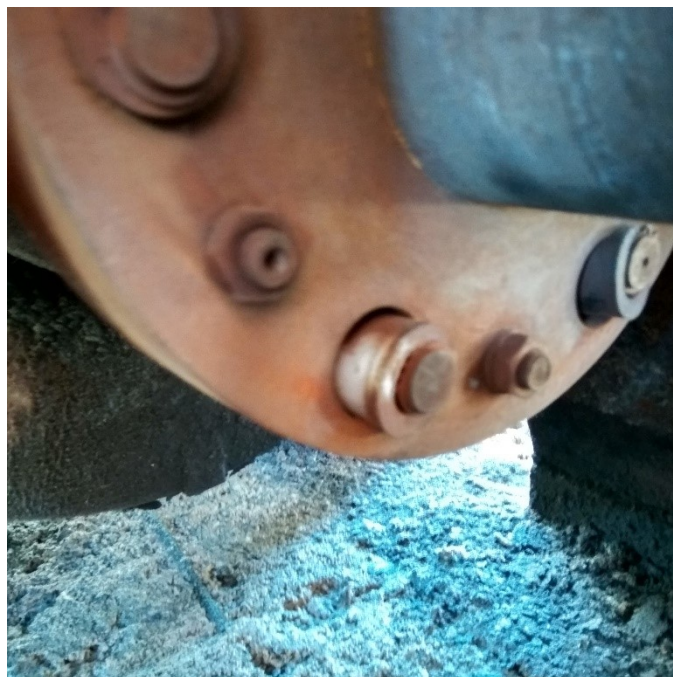


Obrázek 129 Spektrum zrychlení vibrací v místě L4 v axiálním směru 101B [autor]

Velmi špatné hodnoty v místech L1 a L2, tedy hlavně v místě L2 ukazují na velmi špatný stav ustavení. V nejkritičtějším místě bude spojka soustavy. Z Obrázku 95 a Obrázku 96 lze vidět velmi kritické poškození spojky a spojkových čepů. Toto poškození spojky bylo vyfocené na sesterském čerpadle 101A, které bylo mimo provoz. Z prozkoumání spekter je jasné, že tato porucha se bude nacházet i na soustavě 101B.



Obrázek 132 Poškození na spojce 101A, pohled 1 [autor]



Obrázek 131 Poškození na spojce 101A, pohled 2 [autor]



*Obrázek 134 Levá zadní patka
soustavy 101B [autor]*



*Obrázek 133 Levá přední patka
soustavy 101B [autor]*

Navíc dalším z mnoha problémů u tohoto čerpadla je silná koroze, protože stanice se nachází ve venkovních prostorech pod provizorním přístřeškem. Dalším faktorem je, že chlazení ucpávky čerpadla 101B má samo chladicí vliv kapalinou, která tryská z čerpadla. Jelikož se jedná o žíravý roztok STRETFORD, není úplně ideální kontakt strojních zařízení s tímto roztokem. Na základě těchto faktorů není jiná možnost určení technického stavu soustavy, než **NEPŘÍJATELNÝ!** Čerpadlo nemá smysl opravovat, ale měla by být provedena jeho celková obměna.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo provést měření v provozu Koksovna Svoboda v Ostravě. Měřenými objekty byly strojní zařízení pro dopravu kapalin (soustavy čerpadel). Tyto strojní zařízení slouží k dopravě produktů, které jsou vedlejšími produkty výroby koksu. Na těchto čerpadlech, která jsou rozmístěna v různých provozech, bylo provedeno měření vibrací pomocí měřicího přístroje na měření vibrací a termografické měření teplot za použití termografického měřicího přístroje, termokamery. Následně byla naměřena data hodnocena dle hraničních hodnot.

Cílem teoretické části bylo uvedení do problematiky čerpadel, výroby koksu a vedlejších produktů, dále pak poukázat na vady a jejich projev ve frekvenčních spektrech. Další částí rešerše je problematika při měření termografickými zařízeními (termokamerami) a poruchy, či vady elektromotorů. Následná praktická část se poté věnuje vyhodnocení technického diagnostického měření jednotlivých strojních soustav. Vyhodnocení je v podobě tabulek naměřených hodnot, termografických snímků zaměřených na elektromotor a ucpávku čerpadla. U každé čerpadlové soustavy je vždy také uveden popis čerpadla a případný popis poruch a vad na soustavě. Každá soustava je samozřejmě doplněna vyhodnocením technického stavu.

Celkem bylo měřeno a hodnoceno 15 strojních soustav čerpadle ve firmě Koksovna Svoboda a.s. Měřené čerpadlové soustavy jsou označeny v provozu číselně a písmenem (např. 7A, 9B,...). Měření bylo prováděno 20.2. 2018 a 7.5. 2018.

Z těchto 15 soustav bylo shledáno **13 soustav** po vyhodnocení ve stavu **VYHOVUJÍCÍM**. Technický stav **čerpadla 6A** byl vyhodnocen, jako **ZHORŠENÝ**. Důvodem tohoto technického stavu je špatná volba podpěry v místě L3, kde tím pádem dochází k úhlové nesouososti. Technický stav **čerpadla 6A** byl vyhodnocen, jako **NEPŘIJATELNÝ**. Čerpadlo bylo shledáno v dezolátním stavu. (kritický stav spojky a špatné ustavení).

PODĚKOVÁNÍ

Prostřednictvím tohoto poděkování bych chtěl poděkovat společnost OKK Koksovy a.s. za to, že umožnila měření v areálu firmy a za jejich vstřícný přístup. Také bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Blatovi, Ph.D. za jeho čas a cenné rady při zpracování měření a vyhodnocení dat. A dodatečně bych chtěl poděkovat Ing. Davidu Šeděnkovi za jeho rady při měření a vyhodnocení měření.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Znázornění výšek čerpadla na schématu povrchového čerpadla [2]	13
Obrázek 2 Jednoduchý princip pístového čerpadla (jednočinný) [3]	15
Obrázek 3 Čerpadlo pístové PULTZMEISTER P 715 TD [4]	15
Obrázek 4 Čerpadlo pístové na beton (na korbě nákladního automobilu) [5]	15
Obrázek 5 Jednoduchý princip dvojčinného pístového čerpadla [6]	16
Obrázek 6 Membránové čerpadlo [8]	16
Obrázek 7 jednoduché membránové čerpadlo [9]	17
Obrázek 8 Průřez zubovým čerpadlem [12]	17
Obrázek 9 Rotační zubové čerpadlo [11]	17
Obrázek 10 Zubové čerpadlo s vnějším ozubením a jeho funkční fáze [13]	18
Obrázek 11 Ponorné vřetenové čerpadlo [15]	19
Obrázek 12 Řez vřetenovým čerpadlem [16]	19
Obrázek 13 Přenášení hmoty lamelovým čerpadlem [18]	20
Obrázek 14 Soustava lamelového čerpadla s pohonem [20]	20
Obrázek 15 Řez lamelovým čerpadlem [19]	20
Obrázek 16 Měřená soustava lamelového čerpadla (49B) [autor]	21
Obrázek 17 Princip odstředivého čerpadla [22]	22
Obrázek 18 Odstředivé čerpadlo [23]	22
Obrázek 19 Provedení a popis proudového čerpadla pro požární účely [25]	23
Obrázek 20 Fotografie koksovny Svoboda [27]	25
Obrázek 21 Kosmická loď třídy Orion [29]	27
Obrázek 22 Pohled na koksovnu Svoboda (chemický provoz-hrubá kondenzace) [31]	28
Obrázek 23 Koksovna Svoboda, koks vytlačovaný z jedné z komor koksárenské baterie [32]	28
Obrázek 24 schéma procesu výroby koksu [33]	30
Obrázek 25 Abraham Darby I. (portrét) [36]	31
Obrázek 26 Milíř (historická fotografie) [38]	32
Obrázek 27 Milíř (replika) [37]	32
Obrázek 28 Nevyváženost statická [40]	33
Obrázek 29 Nevyváženost momentová [41]	34
Obrázek 30 Nevyváženost dynamická [42]	35
Obrázek 31 Nesouosost rovnoběžná [43]	36
Obrázek 32 Nesouosost úhlová [44]	36

Obrázek 33 Různé druhy termografických zařízení (firma FLUKE) [46]	38
Obrázek 34 Klešťový ampérmetr FLUKE [48]	43
Obrázek 35 Elektromotor v soustavě elektromotor-čerpadlo (09b) přečerpávání čpavkové vody, měření vibrací v místě L1 [autor]	44
Obrázek 36 Elektromotor v soustavě elektromotor-čerpadlo (49B), předčišťovací stanice, měření vibrací v místě L1 [autor]	44
Obrázek 37 Přístroj na měření vibrací ADASH VA4PRO [autor]	45
Obrázek 38 Termokamera FLUKE TI35 [50]	46
Obrázek 39 Složení strojní soustavy, směry měření, měřicí místa, soustava čerpadla 09b [autor].....	48
Obrázek 40 Čerpadlová soustava 48B (Vpravo 48A) [autor].....	51
Obrázek 41 Termografický snímek Elektromotoru 48B (7.5.) [autor].....	51
Obrázek 42 Termografický snímek ucpávky čerpadla 48B (7.5.) [autor]	52
Obrázek 43 Čerpadlová soustava 49B (vpravo 49A) [autor]	52
Obrázek 44 Termografický snímek ucpávky čerpadla 49B (20.2) [autor]	53
Obrázek 45 Termografický snímek elektromotoru 49B (20.2.) [autor].....	53
Obrázek 46 Termografická snímek ucpávky 49B (7.5.) [autor].....	53
Obrázek 47 Termografický snímek elektromotoru 49B (7.5.) [autor].....	53
Obrázek 48 Ukázka měření vibrací u strojní soustavy 49B v měřicím místě L1 [autor]	54
Obrázek 49 Strojní soustava 50B [autor].....	55
Obrázek 50 Termografický snímek ucpávky čerpadla 50B (20.2) [autor]	56
Obrázek 51 Termografický snímek elektromotoru 50B (20.2.) [autor].....	56
Obrázek 52 Termografický snímek ucpávky čerpadla 50B (7.5.) [autor]	56
Obrázek 53 Termografický snímek elektromotoru 50B (7.5.) [autor].....	56
Obrázek 54 Ukázka z měření termokamerou, teploty na ucpávce čerpadla 50B [autor] ...	56
Obrázek 55 Měření vibrací v místě L4 soustavy 50B [autor].....	57
Obrázek 56 Měření vibrací v místě L3 soustavy 50B [autor].....	57
Obrázek 57 Strojní soustava 24B [autor].....	57
Obrázek 58 Termografický snímek ucpávky 24B (20.2.) [autor].....	58
Obrázek 59 Termografický snímek ucpávky čerpadla 24B (7.5.) [autor]	58
Obrázek 60 Termografický snímek elektromotoru 24B (7.5.) [autor].....	58
Obrázek 61 Termografický snímek elektromotoru 24B (20.2.) [autor].....	58
Obrázek 62 Nepravidelný průběh vibrací v místě L2 (7.5.) [autor]	59
Obrázek 63 Nepravidelný průběh vibrací v místě L2 (20.2.) [autor]	59
Obrázek 64 Nepravidelný průběh vibrací v místě L1 (20.2.) [autor]	59

Obrázek 65 Pohled na interiér velké absorpční stanice [autor]	60
Obrázek 66 Strojní soustava 19A (vpravo 19B) [autor]	60
Obrázek 67 Termografický snímek ucpávky čerpadla 19A (7.5.) [autor].....	61
Obrázek 68 Termografický snímek elektromotoru 19A (7.5.) [autor]	61
Obrázek 69 Termografický snímek ucpávky čerpadla 19A (20.2.) [autor].....	61
Obrázek 70 Termografický snímek elektromotoru 19A (20.2.) [autor]	61
Obrázek 71 Spektrum rychlosti vibrací v horizontálním směru v místě L2 u strojní soustavy 19A (7.5.) [autor]	62
Obrázek 72 Strojní soustava 6A [autor]	63
Obrázek 73 Termografický snímek ucpávky čerpadla 6A (7.5.) [autor].....	64
Obrázek 74 Termografický snímek elektromotoru 6A (7.5.) [autor]	64
Obrázek 75 Termografický snímek ucpávky čerpadla 6A (20.2.) [autor].....	64
Obrázek 76 Termografický snímek elektromotoru 6A (20.2.) [autor]	64
Obrázek 77 Spektrum rychlosti vibrací v horizontálním směru v místě L3 (20.2.) [autor]	65
Obrázek 78 Spektrum rychlosti vibrací v horizontálním směru v místě L3 (7.5.) [autor] ..	65
Obrázek 79 Nevhodně řešení ustavení spojky pomocí plechové konzole, pohled na spojku soustavy 6A [autor].....	66
Obrázek 80 Přední náhled na spojku [autor]	66
Obrázek 81 Pohle na spojku čerpadla (pevný kus) [autor]	67
Obrázek 82 Ukázka spojky na odstaveném a rozebraném čerpadle [autor]	67
Obrázek 83 Strojní soustava 7A [autor]	68
Obrázek 84 Termografický snímek ucpávky čerpadla 7A (7.5.) [autor].....	69
Obrázek 85 Termografický snímek elektromotoru 7A (7.5.) [autor].....	69
Obrázek 86 Termografický snímek ucpávky čerpadla 7A (20.2.) [autor].....	69
Obrázek 87 Termografický snímek elektromotoru 7A (20.2.) [autor]	69
Obrázek 88 Strojní soustava 8B [autor].....	70
Obrázek 89 Termografický snímek ucpávky čerpadla 8B (7.5.) [autor]	71
Obrázek 90 Termografický snímek elektromotoru 8B (7.5.) [autor].....	71
Obrázek 91 Termografický snímek ucpávky čerpadla 8B (20.2.) [autor]	71
Obrázek 92 Termografický snímek elektromotoru 8B (20.2.) [autor].....	71
Obrázek 93 Pece sloužící pro ohřev pracího oleje [autor].....	72
Obrázek 94 Fotografie benzolové stanice [autor].....	72
Obrázek 95 Strojní soustava 7D [autor]	72
Obrázek 96 Termografický snímek ucpávky čerpadla 7D (7.5.) [autor].....	73
Obrázek 97 Termografický snímek elektromotoru 7D (7.5.) [autor]	73

Obrázek 98 Strojní soustava 7B [autor].....	74
Obrázek 99 Termografický snímek ucpávky čerpadla 7B (20.2.) [autor]	74
Obrázek 100 Termografický snímek elektromotoru 7B (20.2.) [autor]	74
Obrázek 101 Strojní soustava 9B [autor].....	75
Obrázek 102 Termografický snímek ucpávky čerpadla 9B (20.2.) [autor]	76
Obrázek 103 Termografický snímek elektromotoru 9B (20.2.) [autor]	76
Obrázek 104 Přibližné frekvenční spektrum rychlosti v místě L1 v horizontálním směru 9B (7.5.) [autor]	77
Obrázek 105 Termografický snímek ucpávky čerpadla 9B (7.5.) [autor]	77
Obrázek 106 Frekvenční spektrum rychlosti v místě L2 v horizontálním směru 9B (7.5.) [autor].....	78
Obrázek 107 Soustava čerpadla 6B [autor]	78
Obrázek 108 Termografický snímek ucpávky čerpadla 6B (7.5.) [autor]	79
Obrázek 109 Termografický snímek ucpávky čerpadla 6B (20.2.) [autor]	79
Obrázek 110 Termografický snímek elektromotoru 6B (7.5.) [autor]	79
Obrázek 111 Termografický snímek elektromotoru 6B (20.2.) [autor]	79
Obrázek 112 Strojní soustava 09b [autor]	80
Obrázek 113 Zahlcovací kotlík [autor]	81
Obrázek 114 Termografický snímek ucpávky čerpadla 09b (20.2.) [autor].....	81
Obrázek 115 Termografický snímek elektromotoru 09b (20.2.) [autor]	81
Obrázek 116 Termografický snímek ucpávky čerpadla 09b (7.5.) [autor].....	82
Obrázek 117 Termografický snímek elektromotoru 09b (7.5.) [autor]	82
Obrázek 118 Spektrum rychlosti vibrací v místě L3 v axiálním směru 09b (7.5.) [autor]..	82
Obrázek 119 Strojní soustava 10b [autor]	83
Obrázek 120 Termografický snímek ucpávky čerpadla 10b (7.5.) [autor].....	84
Obrázek 121 Termografický snímek elektromotoru 10b (7.5.) [autor]	84
Obrázek 122 Elektromotor a spojka soustavy 101b [autor]	84
Obrázek 123 Čerpadlo 101B [autor].....	85
Obrázek 124 Termografický snímek spojky 101B (7.5.) [autor]	85
Obrázek 125 Termografický snímek elektromotoru 101B (7.5.) [autor]	85
Obrázek 126 Spektrum rychlostí vibrací v místě L1 v horizontálním směru 101B [autor]	86
Obrázek 127 Spektrum zrychlení vibrací v místě L3 v axiálním směru 101B [autor].....	87
Obrázek 128 Spektrum rychlosti vibrací v místě L3 v horizontálním směru 101B [autor]	87
Obrázek 129 Spektrum zrychlení vibrací v místě L4 v axiálním směru 101B [autor]	88
Obrázek 130 Spektrum rychlosti vibrací v místě L3 v axiálním směru 101B [autor].....	88

Obrázek 131 Poškození na spojce 101A, pohled 2 [autor]	89
Obrázek 132 Poškození na spojce 101A, pohled 1 [autor]	89
Obrázek 134 Levá přední patka soustavy 101B [autor]	90
Obrázek 133 Levá zadní patka soustavy 101B [autor]	90

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Doporučené hodnoty efektivní rychlosti vibrací dle ČSN ISO 10 816-3 v pásmu 10-1000 Hz [53].....	46
Tabulka 2 Doporučené hodnoty efektivního zrychlení vibrací v pásmu 500-25000 Hz (doporučeno vedoucím práce)	47
Tabulka 3 Seznam pracovišť, čerpadel a jejich stav, datum měření, X-měření provedeno, MS-malá strojovna, VS-velká strojovna [autor].....	50
Tabulka 4 Naměřené hodnoty z jednoho měření strojní soustavy 48B [autor]	51
Tabulka 5 Porovnání naměřených hodnot na strojní soustavě 49B [autor]	53
Tabulka 6 Porovnání naměřených hodnot strojní soustavy 50B [autor]	55
Tabulka 7 Porovnání naměřených hodnot strojní soustavy 24B [autor]	58
Tabulka 8 Porovnání naměřených hodnot strojní soustavy 19A [autor]	61
Tabulka 9 Porovnání naměřených hodnot strojní soustavy 6A [autor]	63
Tabulka 10 Porovnání naměřených hodnot soustavy 7A [autor]	68
Tabulka 11 Porovnání naměřených hodnot strojní soustavy 8B [autor]	70
Tabulka 12 Tabulka 12 Naměřené hodnoty 7D [autor].....	73
Tabulka 13 Naměřené hodnoty 7B [autor]	74
Tabulka 14 Porovnání naměřených hodnot strojní soustavy 9B [autor]	75
Tabulka 15 Porovnání naměřených hodnot strojní soustavy 6B [autor]	79
Tabulka 16 Porovnání naměřených hodnot strojní soustavy 09b [autor]	81
Tabulka 17 Naměřené hodnoty 10b [autor].....	83
Tabulka 18 Naměřené hodnoty soustavy 101B [autor]	85

ZDROJE

- [1] *Střední odborné učiliště Valašské Klobouk: Stroje pro dopravu kapalin*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <http://souvk.cz/public/default/userfiles/file/e-learning-2012-stroje_na_dopravu_kapalin.pdf>
- [2] *Igr.cz*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <https://1gr.cz/fotky/idnes/15/022/cl5/AHR595f91_Instalacepovrchovhoerpadla.jpg>
- [3]. *Střední průmyslová škola Olomouc*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.spssol.cz/rsimages/DIGI1/html/cad/P%C3%ADstov%C3%A9%20stroje/media/624203a7-eebd-4f1b-980e-a74a529f18c1.jpg>>
- [4] *Střední průmyslová škola Olomouc*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.spssol.cz/rsimages/DIGI1/html/cad/P%C3%ADstov%C3%A9%20stroje/media/624203a7-eebd-4f1b-980e-a74a529f18c1.jpg>>
- [5] *schwing.cz*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <http://www.schwing.cz/data/52/obr/menu/obrazek/52-1078-vyber_S_31_300X150.png>
- [6] *Střední průmyslová škola Olomouc*, [online]. [cit 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <[http://www.spssol.cz/rsimages/DIGI1/html/cad/P%C3%Adstov%C3%A9%20stroje/media/fbdb2519-e287-43f1-bc5d-9e54b45b9cfc.jpg](http://www.spssol.cz/rsimages/DIGI1/html/cad/P%C3%ADstov%C3%A9%20stroje/media/fbdb2519-e287-43f1-bc5d-9e54b45b9cfc.jpg)>
- [7] *WIKIPEDIE Otevřená encyklopedie: Membránové čerpadlo*. [online] [cit. 2018-05-08]. Dostupné z WWW: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Membr%C3%A1nov%C3%A9_%C4%8Derpadlo>
- [8] *SCHMACHTL CZ SPOL. S. R. O.* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <https://www.schmachtl.cz/web_get_img_data?aID=1658127>
- [9] *automatizace.hw.cz*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <https://automatizace.hw.cz/files/images/image/gear_pump.jpg>
- [10] *automatizace.hw.cz: principy průmyslových čerpadel 1. díl, zubová čerpadla* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <<https://automatizace.hw.cz/principy-prumyslovych-cerpadel-1dil-zubova-cerpadla>>
- [11] *automatizace.hw.cz*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <https://automatizace.hw.cz/files/images/image/smallcelek_zubove_cerpadlo.jpg>

- [12] *automatizace.hw.cz*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW:
<https://automatizace.hw.cz/files/images/image/gear_pump.jpg>
- [13] *automatizace.hw.cz*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW:
<https://automatizace.hw.cz/files/images/image/smallzubovka_vnejsi_2.jpg>
- [14] *automatizace.hw.cz: principy průmyslových čerpadel 8. díl, vřetenová čerpadla*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <<https://automatizace.hw.cz/principy-prumyslovych-cerpadel-8dil-vretenova-cerpadla>>
- [15] *automatizace.hw.cz*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW:
<<https://automatizace.hw.cz/files/images/image/0201-allweiler.jpg>>
- [16] *Pumpa a. s.* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW:
<http://obchod.pumpa.cz/images/sklady/pch_T90-16.jpg>
- [17] *automatizace.hw.cz*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW:
<<https://automatizace.hw.cz/files/images/image/how-vane-pump-works.jpg>>
- [18] *automatizace.hw.cz*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW:
<<https://automatizace.hw.cz/files/images/image/how-vane-pump-works.jpg>>
- [19] *AxFlow s. r. o.* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW:
<http://www.axflow.com/ImageVaultFiles/id_523/cf_200/Asphalt.JPG>
- [20] *automatizace.hw.cz*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW:
<<https://automatizace.hw.cz/files/images/image/megaflex.jpg>>
- [21] *automatizace.hw.cz: principy průmyslových čerpadel 4. díl, odstředivá čerpadla*. [online]. [cit. 2018-05-06]. *automatizace.hw.cz*. Dostupné z WWW:
<<https://automatizace.hw.cz/principy-prumyslovych-cerpadel-4dil-odstrediva-cerpadla>>
- [22] *DOCPLAYER*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW:
<<http://docplayer.cz/docs-images/17/180546/images/75-0.jpg>>
- [23] *encrypted-tbn0.gstatic.com*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW:
<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQAJV7iPFrVpvUKjC2u8p6JNaIc3T9m7xiT9gaR2_8POL_VWm-Q>

- [24] *automatizace.hw.cz: principy průmyslových čerpadel 9. díl, proudová čerpadla*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <<https://automatizace.hw.cz/principy-prumyslovych-cerpadel-9dil-proudova-cerpadla>>
- [25] *automatizace.hw.cz*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <<https://automatizace.hw.cz/files/images/image/sq300.jpg>>
- [26] *WIKIPEDIE Otevřená encyklopedie: OKK Koksovny*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <https://cs.wikipedia.org/wiki/OKK_Koksovny>
- [27] *OKK KOKSOVNY A. S.* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.koksovny.cz/galleries/ac3478d69a3c81fa62e60f5c3696165a4e5e6ac4/f00-1415268771.jpg>>
- [28] *OKK KOKSOVNY A. S.: úvodem o koksu* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.koksovny.cz/cz/uvodem-o-koksu>>
- [29] *upload.wikipedia.org*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/80/Orion_with_ATV_SM.jpg/1200px-Orion_with_ATV_SM.jpg>
- [30] *OKK KOKSOVNY A. S.: kde vyrábíme koks*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.koksovny.cz/cz/kde-vyrabime-koks>>
- [31] *OKK KOKSOVNY A. S.* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <<http://koksovny.cz/galleries/c1dfd96eea8cc2b62785275bca38ac261256e278/f02-1415276064.jpg>>
- [32] *OKK KOKSOVNY A. S.* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <<http://koksovny.cz/galleries/c1dfd96eea8cc2b62785275bca38ac261256e278/f06-1415276074.jpg>>
- [33] *OKK KOKSOVNY A. S.* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <<http://koksovny.cz/uploads/source/Schema-produkce.jpg>>
- [34] *OKK KOKSOVNY A. S.: schéma produkce koksu* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.koksovny.cz/cz/schema-produkce-koksu>>
- [35] *OKK KOKSOVNY A. S.: historie koksárenství ve světě*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.koksovny.cz/cz/historie-koksarenstvi-ve-svete>>

- [36] *AUKTIONSHAUS TSCHÖPE, Historische Wertpapiere und Finanzdokumente, gegründet 1978*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <http://www.tschoepe.de/auktion60/pics/ironbridge_portrait.jpg>
- [37] *lh5.googleusercontent.com*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <https://lh5.googleusercontent.com/-ynSdxSy2MgQ/U6VJiIYXqgI/AAAAAAAAAFcw/kL28IyHT2LE/s1600/milir2014_01.jpg>
- [38] *LESNICKÝ PARK KŘIVOKLÁTSKO*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.lpkrivoklatsko.cz/images/img/hrady/milir.jpg>>
- [39] BLATA, J.-Juraszek, J. *Metody technické diagnostiky, teorie a praxe. Metody diagnostyki technicznej, teoria i praktyka*. Ostrava: REPRONIS, s.r.o., 2013, 133 stran.
- [40] *VOPSS Řepeč s. r. o.* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.vopss.cz/opravy-vreten/foto/staticka.jpg>>
- [41] *VOPSS Řepeč s. r. o.* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.vopss.cz/opravy-vreten/foto/momentova.jpg>>
- [42] *VOPSS Řepeč s. r. o.* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.vopss.cz/opravy-vreten/foto/dynamicka.jpg>>
- [43] *fixturlaser.com*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Fixturelaser.com. Dostupné z WWW: <<http://www.fixturlaser.com/Global/BoA/shaft-parallel-offset.png>>
- [44] *FixturLaser ACOEM Group*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.fixturlaser.com/Global/BoA/shaft-angular-error.png>>
- [45] *Termokamera.cz*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/chyby-a-omyly-pri-mereni-termokamerou/>>
- [46] *Blue Panther s. r. o.* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <<https://www.blue-panther.cz/data/imgs/037451.jpg>>
- [47] *VŠB TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, Fakulta strojní* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW: <<http://projekty.fs.vsb.cz/147/ucebniopory/978-80-248-2755-1.pdf>>

- [48] *asset.sonrad.com*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z WWW:
<https://asset.conrad.com/media10/isa/160267/c1/-/cs/101960_BB_00_FB/Kle%C5%A1%C5%A5ov%C3%BD+amp%C3%A9rmetr+Fluke+323+AC.jpg?align=center&x=250&ex=250&y=250&ey=250>
- [49] *ADASH*. [online]. [cit. 2018/05/06]. Dostupné z WWW:
<<https://adash.com/documents/A4400/Adash-A4400-VA4-Pro-manual-cz.pdf>>
- [50] *Fluke brands.*. [online]. [cit. 2018/05/06]. Dostupné z WWW:
<<http://www.fluke.com/fluke/czcs/termokamery/fluke-ti35.htm?pid=56186>>
- [51] *UNIPETROL*. [online]. [cit. 2018/05/06]. Dostupné z WWW:
<<http://www.unipetrol.cz/cs/NabidkaProduktu/PetrochemickeProdukty/Agrochemikalie/Stranky/cpavkova-voda.aspx>>
- [52] HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II. – Vibrodiagnostika*. VŠB-TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s.
- [53] ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.
- [autor] *autor bakalářské práce*